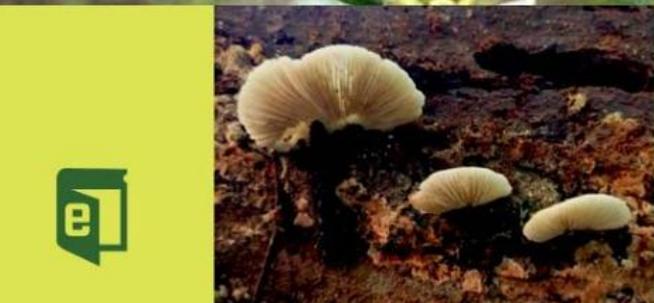


ORGANIZADOR: Maurício Novaes Souza

Tópicos em recuperação de Áreas Degradadas

Volume X



ORGANIZADOR:
Maurício Novaes Souza

Tópicos em recuperação de

Áreas Degradadas

Volume X

Canoas
2025



ESTUDOS DE CASO:

Recuperação de áreas degradadas: fundamentos e objetivos da reabilitação ambiental

Transição sustentável: caminhos para a construção de sistemas produtivos resilientes

Educação ambiental na escola: formação de valores transitando entre os espaços formais e não formais de ensino

Estratégias de recuperação ambiental em solos contaminados por agroquímicos e metais pesados: técnicas de engenharia e fitorremediação

Autenticação e caracterização de isolados de bactérias fixadoras de nitrogênio associadas a leguminosas nativas em áreas degradadas de campos rupestres

Efeitos do plantio direto na qualidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo: uma abordagem integrada

Panorama da agricultura familiar: uma análise multiescalar do Brasil ao Caparaó Capixaba

Análise de Sustentabilidade do Programa Gestágua: Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no Município de Alegre-ES

Entre a produção e o prejuízo: a dualidade dos agrotóxicos na saúde humana

Entre o cultivo e o compromisso: agroecologia, justiça social e sustentabilidade em debate

Tópicos em recuperação de áreas degradadas Volume X

© 2025 Mérida Publishers

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3>

Organizador

Maurício Novaes Souza

Revisão ortográfica

Maurício Novaes Souza

Adaptação da capa e desenho gráfico

Luis Miguel Guzmán

Fotos da capa

Thiara Azevedo Pancotto - Fungos

Willian Moreira da Costa - Abelhas

Foto da contracapa

Maurício Novaes Souza



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)

T674 Tópicos em recuperação de áreas degradadas [livro eletrônico] : volume X / Organizador Maurício Novaes Souza. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-84548-34-3

1. Meio ambiente – Preservação. 2. Áreas degradadas – Impactos ambientais. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Souza, Maurício Novaes.

CDD 577

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Dedicatória

Sou Castelense de raiz, moldado entre montanhas e memórias, ex-aluno do glorioso Colégio Estadual João Bley — cuja bandeira azul tremula não apenas nos mastros, mas no peito dos que por ali passaram.

Neste abril, mês do meu nascimento, o tempo abriu espaço para um reencontro raro: colegas de jornada que não via há mais de meio século. Sorrisos amadurecidos, memórias despertadas e abraços que atravessaram o tempo.

Sabia que três mestres seriam homenageados — e por isso já me sentia feliz. Mas não imaginava que, entre tantas histórias, meu nome ecoaria com tamanha emoção. Fui agraciado, com outros dois amigos, com a honraria de “Professor Sangue Azul”, reconhecimento de nossas trajetórias em defesa das causas ambientais.

Dentre todas as homenagens que já recebi ao longo da vida, esta teve um brilho singular. Um significado inexplicável, pois veio do chão onde dei meus primeiros passos, da terra que teceu meus sonhos.

Aos muitos responsáveis por esse gesto, meu mais profundo agradecimento. Em especial, dedico meu reconhecimento ao amigo Dr. João Carlos Jordão Sasso, por sua generosidade e sensibilidade.

Se tivesse que escolher uma única palavra para expressar tudo o que senti ao receber esse título seria...

Gratidão!

Professor Maurício Novaes

Guarapari, junho de 2025.

Prefácio

No livro *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas – Vol. IX*, publicado em fevereiro de 2025, tive a oportunidade de refletir sobre figuras que nos inspiram e nos desafiam a repensar nossos valores e escolhas. Entre elas, destaquei o extraordinário José Alberto “Pepe” Mujica Cordano, cuja recente partida em abril deixou um vazio imenso para todos que acreditam em uma sociedade mais justa, simples e equilibrada.

Relembrei, naquele texto, uma de suas declarações mais marcantes: “Todos acham muito bonitas as palavras que digo, me aplaudem, publicam em revistas e jornais, mas quase ninguém pratica o que eu prego.” Essa frase sintetiza um dos grandes paradoxos do nosso tempo: o descompasso entre o discurso e a prática, entre a admiração por ideais elevados e a inércia diante das transformações concretas que eles exigem.

Mujica foi um símbolo de coerência entre palavra e ação. Viveu com simplicidade e pregou uma vida livre do consumismo desenfreado, colocando a dignidade humana, a justiça social e o respeito à natureza acima das pressões do mercado. Sua crítica à sociedade do “ter” continua atual e necessária. Apesar da constante exaltação de suas ideias em palestras e redes sociais, poucos se dispõem, de fato, a abandonar o estilo de vida predatório que tanto criticamos. Seguimos acumulando bens, degradando ecossistemas e alimentando um modelo econômico excludente, insustentável e alienante.

Outra perda sentida neste mesmo período foi a do fotógrafo e ativista Sebastião Salgado. Seu trabalho transcendia a estética: suas imagens capturavam as dores do mundo e revelavam as desigualdades mais profundas da humanidade, ao mesmo tempo em que nos mostravam a beleza e a força da regeneração da natureza. Salgado não apenas denunciava o colapso socioambiental; ele também agia. Junto de sua esposa, Lélia, liderou a impressionante recuperação de uma área devastada em Minas Gerais, na cidade de Aimorés, transformando um cenário de degradação, a Fazenda Bulcão, em uma exuberante floresta replantada. Um gesto concreto de amor à terra, que se alinha perfeitamente aos princípios da agroecologia.

Ambos, Mujica e Salgado, defendiam uma visão de mundo onde o ser humano

deve viver em harmonia com a natureza, e não à sua custa. Em suas trajetórias, encontramos os alicerces de uma verdadeira agroecologia: justiça social, respeito aos ciclos da vida, economia solidária e a valorização do trabalho humano. A agroecologia, nesse sentido, não é apenas um modelo de produção agrícola, mas uma proposta civilizatória que propõe novas relações entre as pessoas, com o alimento, com a terra e com o tempo. É o antídoto para a lógica da exploração – do solo, do trabalhador, do consumidor.

Quando discutimos a recuperação de áreas degradadas, não estamos apenas tratando de reflorestar ou melhorar índices ambientais. Estamos falando de restaurar vínculos rompidos: o vínculo do agricultor com a terra, das comunidades com sua identidade cultural, e da sociedade com valores que privilegiam a vida sobre o lucro. Mujica falava da liberdade como a capacidade de dispor do tempo para aquilo que nos dá sentido. Salgado nos mostrava, em preto e branco, o contraste entre o sofrimento humano e a resiliência da natureza. Ambos, em suas linguagens distintas, nos convocavam a um mesmo compromisso ético e político: repensar nossos caminhos e reconstruir as bases de um mundo mais justo e sustentável.

Suas ausências são sentidas, mas seus legados permanecem vivos. Que suas vozes ecoem não apenas como belas palavras aplaudidas, mas como convites urgentes à ação – na agroecologia, na recuperação de áreas degradadas, na defesa do meio ambiente e na construção da justiça social. Que sejamos mais do que admiradores; que sejamos continuadores.

Recentemente, tive a honra de participar de uma mesa no II Fórum do Caparaó. Em uma das palestras mais marcantes do evento, o Ministro José Carlos Carvalho – com sua lucidez e firmeza – destacou a urgência de desconstruirmos dois mitos persistentes que ainda orientam grande parte das ações humanas: o mito da inesgotabilidade dos recursos naturais e o mito da hegemonia do homem sobre a natureza. Ao encerrar sua fala, deixou uma reflexão provocadora: *“Acréscitar conhecimentos é fácil; difícil é promover a mudança de hábitos.”*

Esses dois mitos estão enraizados na formação histórica do pensamento ocidental e sustentam o modelo de desenvolvimento que hoje mostra seus limites ecológicos e éticos. O primeiro mito – o da inesgotabilidade dos recursos – remonta à ideia moderna de que a natureza é uma mera fornecedora de bens, sempre

disponível para suprir as necessidades humanas, sem considerar seus ciclos, sua regeneração ou seus limites físicos. Esse pensamento utilitarista transformou a terra, as águas, as florestas e até os seres vivos em “recursos” à disposição do mercado, desconsiderando os impactos acumulados de sua exploração intensiva.

No entanto, a realidade tem se encarregado de desmontar essa ilusão. A escassez de água, a perda de biodiversidade, o avanço da desertificação, as mudanças climáticas e o colapso de ecossistemas inteiros revelam que os limites planetários foram ultrapassados. A Terra está nos cobrando pelas décadas – ou séculos – de exploração irresponsável. Persistir nesse mito é caminhar rumo ao colapso.

O segundo mito, o da hegemonia do homem sobre a natureza, é ainda mais profundo e simbólico. Ele sustenta a ideia de que o ser humano está separado e acima da natureza, como se fosse um agente exterior a ela, com o direito de controlar, dominar e modificar o mundo natural a seu bel-prazer. Essa visão antropocêntrica não apenas legitimou a exploração ambiental, mas também contribuiu para a exclusão de saberes tradicionais, como os de povos originários, quilombolas e camponeses, que veem o ser humano como parte integrante dos ecossistemas, e não como seu senhor.

Superar esse paradigma exige mais do que conhecimento técnico ou informações científicas. Como bem afirmou o ministro, *“acrescentar conhecimentos é fácil; difícil é promover a mudança de hábitos”*. Mudar hábitos envolve transformar valores, romper com padrões culturais profundamente enraizados e repensar nosso estilo de vida, nosso consumo, nossa relação com o tempo, com o outro e com a terra. Requer educação crítica, sensibilidade ética, experiências coletivas de reconexão com o território e um profundo compromisso político com a sustentabilidade e a justiça social.

A desconstrução desses mitos não é um exercício teórico: é um imperativo civilizatório. O futuro depende da capacidade de reconhecermos que somos parte de uma teia complexa de vida, cujos equilíbrios delicados precisam ser respeitados. Isso inclui abandonar a lógica predatória, valorizar práticas regenerativas, como a agroecologia e a recuperação de áreas degradadas, e construir modelos de convivência que sejam solidários, circulares e enraizados na ética do cuidado.

O Fórum do Caparaó, ao proporcionar espaços como esse, cumpre um papel fundamental: provocar a reflexão, inspirar a ação e fortalecer redes de transformação. Que essas ideias não fiquem apenas no campo do discurso, mas se traduzam em novas práticas, capazes de desafiar os mitos e construir uma nova narrativa para o nosso tempo.

Essas questões têm sido o cerne da série de livros *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas* e *Tópicos em Gestão Ambiental*, desenvolvida com alunos das disciplinas do Programa de Pós-graduação em Agroecologia (PPGA), dos cursos de Biologia e Tecnologia em Cafeicultura do Ifes – campus de Alegre, bem como com estudantes do Mestrado da Ufes no mesmo município. A série, fruto do esforço coletivo entre discentes, orientados e colegas de trabalho, está intrinsecamente ligada às inquietações que me moveram durante minha dissertação de mestrado no Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (2002–2004).

Compreender como a humanidade, que em tempos remotos gerava impactos ambientais quase insignificantes, tornou-se hoje uma força dominante e degradante no planeta é um desafio tanto intelectual quanto ético. Nesse contexto, o exemplo de José Mujica — ao viver e pregar a simplicidade — nos lembra de que enfrentar a crise ecológica exige mais do que diagnósticos e teorias: requer coerência, escolhas conscientes e ruptura com o consumismo desenfreado. Afinal, como ele afirma: “Gastamos dinheiro que não temos, em coisas que não precisamos, para impressionar pessoas que não nos importam”.

Essa contradição entre conhecimento e prática é evidente ao compararmos os avanços ambientais conquistados nas últimas décadas com o que ainda falta ser feito. Desde a criação do Dia Mundial do Meio Ambiente, durante a Conferência de Estocolmo em 1972, houve progressos inegáveis: tratados multilaterais, conferências globais, pactos internacionais, além de inúmeras campanhas de sensibilização. No entanto, como alerta Mujica, aplaudir conquistas pontuais não bastam quando continuamos agindo de forma incompatível com a urgência dos desafios ecológicos.

Submeter a natureza a padrões de consumo insustentáveis e ao domínio desmedido da tecnologia — como se os recursos fossem infinitos — é uma ilusão perigosa. Os limites do crescimento estão sendo atingidos, e os sinais da biosfera

são inequívocos: estamos à beira de um colapso. A crise ambiental, como bem observa Mujica, caminha de mãos dadas com a injustiça social. As populações mais vulneráveis são, historicamente, as mais afetadas pela degradação dos ecossistemas, enquanto os detentores de privilégios continuam sustentando a exploração predatória dos bens naturais.

Diante disso, torna-se urgente questionar os modelos de desenvolvimento vigentes. Em especial, é preciso avaliar o papel do agronegócio empresarial na intensificação das mudanças climáticas. Esse setor, dominante em várias partes do mundo, contribui de forma significativa para as emissões de gases de efeito estufa — por meio da expansão da fronteira agrícola, desmatamento, uso de fertilizantes químicos, queima de combustíveis fósseis e criação intensiva de animais. Paradoxalmente, é também altamente vulnerável aos impactos dessas mudanças: secas prolongadas, inundações, alteração de regimes hídricos e de temperatura comprometem diretamente a produtividade e a segurança alimentar.

Foi nesse contexto que, ao encerrar seu mandato como Relator Especial da ONU sobre o Direito à Alimentação, o professor belga Olivier de Schutter apresentou, em março de 2014, seu relatório final intitulado “*O potencial transformador do direito à alimentação*”. No documento, Schutter defende que erradicar a fome é um objetivo possível, mas que exige inverter a lógica atual dos sistemas alimentares, e não apenas aperfeiçoá-la.

Segundo o relator, os modelos hegemônicos priorizam a maximização do lucro no agronegócio, em detrimento de aspectos fundamentais como a diversidade alimentar, o fortalecimento da agricultura familiar, a conservação dos recursos naturais e a equidade social. Ele sustenta que a segurança alimentar deve ser construída de baixo para cima, garantindo o acesso à terra, à água, às sementes e aos meios de produção para os pequenos agricultores.

Nesse sentido, o relatório enfatiza a agroecologia como eixo central de um novo paradigma agrícola — sustentável, inclusivo, resiliente e promotor da saúde. A agroecologia, ao minimizar o uso de insumos caros e depender mais de conhecimento e trabalho local, reduz os custos de produção, melhora a nutrição, fortalece comunidades rurais, cria empregos e contribui para a soberania alimentar.

Além disso, Schutter destaca que a democracia alimentar precisa emergir nos

territórios, com base em processos participativos, mas que essas iniciativas só prosperarão se forem apoiadas por políticas públicas nacionais e sustentadas por um ambiente internacional favorável. Ele critica, por exemplo, o papel da Organização Mundial do Comércio (OMC), que frequentemente impõe obstáculos à adoção de políticas agrícolas inclusivas por parte dos países em desenvolvimento. Em contraponto, aponta o Comitê de Segurança Alimentar Mundial (CFS) como uma das raras instâncias internacionais que buscam integrar governos, sociedade civil, agências multilaterais e setor privado em busca de soluções justas e sustentáveis para os sistemas alimentares.

Em síntese, o relatório propõe uma transformação política, econômica e cultural: colocar a alimentação como um direito humano acima dos interesses mercantis, com base em justiça social, agroecologia e participação popular. Essa visão converge com os princípios que norteiam os projetos pedagógicos e as práticas formativas do Ifes – campus de Alegre. Não se trata apenas de formar profissionais, mas de despertar cidadãos críticos, comprometidos com um futuro ambientalmente sustentável e socialmente justo.

Como Mujica, Sebastião Salgado, Carvalho e Antônio Nobre também nos mostram em suas obras e trajetórias, esse caminho é árduo, mas necessário. E, enquanto buscamos respostas coletivas para os desafios contemporâneos, permanece como guia uma lição essencial: viver com coerência e consciência de que a Terra é nossa única morada. Preservar a natureza é, em última instância, um ato de preservação da própria humanidade.

Essas questões têm sido o cerne da série de livros *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas*. A cada novo volume, buscamos lançar luz sobre os paradoxos da modernidade e as contradições entre o conhecimento técnico-científico e as práticas socioeconômicas dominantes. O décimo volume da série, em particular, aprofunda temas centrais relacionados à degradação ambiental, ao esgotamento dos recursos naturais e à construção de um futuro mais justo e sustentável. A proposta é oferecer análises críticas e multidimensionais, capazes de capturar a complexidade das interações entre atividades humanas, ecossistemas e os limites biofísicos do planeta.

Essa contradição entre avanço do conhecimento e persistência de práticas insustentáveis é evidente. Desde a criação do Dia Mundial do Meio Ambiente em

1972, durante a Conferência de Estocolmo, houve inegáveis progressos: conferências internacionais, acordos ambientais, instrumentos legais e mobilizações da sociedade civil. No entanto, como Mujica nos alerta, celebrar avanços é insuficiente quando nossas ações permanecem aquém das necessidades diante da crise ecológica global.

A submissão da natureza a um padrão de consumo dilapidador e ao controle desmedido da tecnologia, como se os recursos fossem infinitos, é uma ilusão perigosa. Os limites do crescimento são reais, e a própria biosfera nos envia sinais claros de colapso iminente. A injustiça social, outro aspecto destacado por Mujica, é parte indissociável dessa crise: são justamente os mais pobres e vulneráveis os que mais sofrem os efeitos da degradação ambiental, enquanto os benefícios da exploração predatória se concentram nas mãos de poucos.

Nesse contexto, o crescimento populacional, especialmente nas áreas urbanas, aliado a um modelo de desenvolvimento pautado pelo consumo exacerbado, tem imposto uma pressão insustentável sobre os ecossistemas. Poluição, esgotamento de recursos e a perda de resiliência dos sistemas naturais se tornaram sintomas recorrentes de um modelo em descompasso com os limites planetários.

É nesse cenário que o Mestrado em Agroecologia e os cursos do Ifes campus de Alegre se inserem como espaços de resistência e transformação. Não se trata apenas de transmitir conhecimento, mas de cultivar práticas, incentivar o pensamento crítico e formar cidadãos capazes de propor soluções alinhadas aos princípios da sustentabilidade. A interseção entre ciência, práticas agroecológicas e consciência ambiental torna-se, assim, essencial para reverter a lógica hegemônica de produção e consumo e reconstruir a relação da sociedade com a natureza.

Como enfatizado pelo professor Olivier de Schutter em seu relatório final à ONU sobre o Direito à Alimentação, erradicar a fome e proteger o planeta não serão resultados de simples ajustes no sistema atual, mas sim da adoção de um novo paradigma. Esse paradigma, centrado na agroecologia, na justiça social e na participação democrática, propõe inverter a lógica de cima para baixo imposta pelos modelos dominantes, privilegiando os territórios, a diversidade produtiva e o protagonismo das comunidades locais.

Portanto, mais do que nunca, é urgente ampliar e aprofundar o debate sobre os rumos do desenvolvimento. O momento exige coragem para encarar os limites do crescimento, mas também criatividade para construir alternativas que garantam a vida, a dignidade e a justiça para as futuras gerações. Ao avançarmos na pesquisa e no ensino comprometidos com a sustentabilidade, contribuimos para forjar um modelo de sociedade que respeite os direitos humanos e os limites ecológicos – um modelo que, em essência, reconheça que preservar a natureza é, antes de tudo, preservar a própria humanidade.

A seguir, apresento a resenha adaptada do livro “**21 Lições para o Século 21**”, elaborada pelo aluno SILLAS RAMOS MARIANO, durante a disciplina de Agroecologia que lecionei no Mestrado em Agroecologia do PPGA do IFES campus de Alegre, no primeiro semestre de 2022.

Título do livro: 21 Lições para o Século 21.

Referência: HARARI, Yuval Noah. **21 lições para o século 21**. Editora Companhia das Letras, 2018.

Autor: Yuval Noah Harari - é doutor em História pela Universidade de Oxford e professor na Universidade Hebraica de Jerusalém. Reconhecido mundialmente por sua capacidade de conectar passado, presente e futuro, Harari é autor dos best-sellers *Sapiens: Uma Breve História da Humanidade* e *Homo Deus: Uma Breve História do Amanhã*, obras que influenciaram profundamente o debate global sobre civilização, tecnologia e o futuro da humanidade.

Tese central do livro: Após abordar o passado da humanidade em *Sapiens: Uma Breve História da Humanidade*, e projetar o futuro distante da espécie em *Homo Deus: Uma Breve História do Amanhã*, Yuval Noah Harari concentra-se, em *21 Lições para o Século 21*, em um tempo mais imediato e tangível: o presente. Publicado em 2018, o livro tem como foco os acontecimentos contemporâneos e suas implicações mais profundas. Harari busca compreender o significado dos desafios atuais e refletir sobre como podemos, enquanto indivíduos e sociedade, nos orientar diante das rápidas transformações que moldam o mundo. A obra analisa o impacto dos avanços tecnológicos — especialmente a inteligência artificial e a biotecnologia — sobre a economia, a política, a verdade, a liberdade e o próprio sentido da vida. Ao longo de 21 ensaios temáticos, o autor examina, de forma crítica e acessível, a ascensão do nacionalismo, a crise da democracia liberal, a disseminação de *fake news* e o colapso de antigos modelos de conhecimento, propondo uma reflexão ética e filosófica sobre como sobreviver e agir em um século marcado por incertezas e mudanças aceleradas.

Principais questionamentos do livro: Em *21 Lições para o Século 21*, Yuval Noah Harari propõe uma série de reflexões urgentes sobre os rumos da humanidade diante das

transformações aceleradas do presente. O autor questiona:

✓ **Como os avanços tecnológicos — especialmente em inteligência artificial e biotecnologia — estão transformando a sociedade, o indivíduo e os vínculos coletivos?**

✓ **Essas mudanças estariam reabrindo questões que pensávamos superadas no século XX, como o nacionalismo extremo, as disputas territoriais, o autoritarismo e o controle ideológico da informação?**

✓ **De que forma a manipulação da informação e a construção de narrativas impactam a democracia e favorecem o surgimento de regimes totalitários?**

✓ **Qual é o papel das grandes corporações nesse cenário? Estariam contribuindo para a concentração de poder e riqueza ou para um progresso mais inclusivo?**

✓ **A sociedade está preparada para lidar com tamanha instabilidade? Conseguiremos construir um futuro mais justo ou estamos caminhando para uma ampliação ainda maior das desigualdades?**

✓ **Como essas transformações desafiam o status quo estabelecido após o final do século XX, marcado por certa estabilidade democrática e globalização econômica?**

Harari não se limita a prever o futuro: ele nos convida a encarar o presente com honestidade e espírito crítico, refletindo sobre como agir conscientemente em meio a tantas incertezas e tensões globais.

O livro trata: Com uma sólida base histórica, Yuval Noah Harari analisa os principais temas sociopolíticos contemporâneos, traçando paralelos com eventos marcantes — especialmente do século XX — que desencadearam conflitos, revoluções e transformações estruturais na sociedade. O autor examina como esses acontecimentos moldaram o mundo moderno e nos conduziram à conjuntura atual. A partir desse panorama, Harari discute os desdobramentos dessas dinâmicas no presente, propondo reflexões sobre os rumos que podemos tomar diante das novas realidades. Ele considera, de forma crítica e abrangente, os impactos dos avanços tecnológicos e do fluxo massivo de informações na política, na economia e nas relações sociais. O livro propõe possíveis caminhos — tanto positivos quanto negativos — para enfrentar os desafios do século XXI, explorando os dilemas e as tensões que caracterizam o nosso tempo.

O livro: Como mencionado anteriormente, *21 Lições para o Século 21* aborda questões sociopolíticas, econômicas e ambientais sob a perspectiva do presente e do futuro de curto prazo. A obra é estruturada em cinco grandes partes, subdivididas em capítulos temáticos que se debruçam sobre os principais desafios do mundo contemporâneo. Harari conduz o leitor por uma reflexão crítica e fundamentada, sempre ancorada em análises históricas, sobre o rumo da humanidade diante das transformações em curso.

✓ **O Desafio Tecnológico**

O livro se inicia com uma análise sobre os impactos dos avanços tecnológicos na sociedade atual. Harari traça paralelos com as revoluções anteriores, destacando como estas moldaram o mercado de trabalho e as estruturas sociais, e projeta como as tecnologias emergentes — como a inteligência artificial e a biotecnologia — transformarão ainda mais o mundo do trabalho. Ele alerta para os riscos da concentração de poder nas mãos de quem detém os dados, já que, ao influenciar padrões de consumo e opiniões políticas, esse controle pode comprometer seriamente a liberdade individual e a autonomia das sociedades. O autor aponta que, no século XXI, o domínio dos dados poderá significar o domínio do futuro.

✓ O Desafio Político

Após discutir as consequências tecnológicas, Harari volta seu olhar para a política. Ele questiona como os sistemas políticos conseguirão lidar com os efeitos das novas tecnologias e enfrentar os crescentes níveis de desigualdade. Além disso, o autor discute os choques culturais, a ascensão do nacionalismo, o fortalecimento de discursos xenofóbicos, os impactos das migrações e o papel da religião na política contemporânea. O desafio político, nesse contexto, é pensar soluções que considerem o bem comum em meio a um cenário fragmentado por interesses identitários e fanatismos.

✓ Desespero e Esperança

Neste bloco, o autor aprofunda os aspectos mais sombrios do mundo atual, como o terrorismo e os conflitos armados, enfatizando que, embora os discursos racistas tenham perdido respaldo científico, foram substituídos por divisões culturais igualmente destrutivas.

Harari discute o uso político da religião para justificar ações violentas, a instrumentalização dos textos sagrados e a manipulação das crenças para fins ideológicos. Em contraste, defende a importância do secularismo, do pensamento crítico e do uso da ciência como base para decisões políticas, econômicas e ambientais.

✓ Verdade

Neste capítulo, Harari aborda a fragilidade do conhecimento humano e a tendência a superestimar nossa compreensão do mundo. Ele explora como a desinformação e as *fake news* se tornaram armas poderosas, com impactos reais, como demonstrado nas eleições presidenciais dos EUA, no Brexit e em regimes autoritários. O autor alerta que, mesmo em um mundo hiperconectado, a verdade continua vulnerável, sendo manipulada para controle populacional e manutenção de narrativas de poder — como já ocorreu no passado com a perseguição aos judeus na Europa.

✓ Resiliência

Por fim, Harari discute como os indivíduos podem desenvolver resiliência diante das incertezas do século XXI. A educação é destacada como ferramenta essencial para entender o passado, interpretar o presente e construir caminhos para um futuro mais justo e sustentável. Além disso, o autor propõe a meditação e o autoconhecimento como práticas fundamentais para cultivar a consciência, a empatia e a capacidade de agir com sabedoria em uma sociedade cada vez mais complexa e acelerada.

Conclusões: *21 Lições para o Século 21* nos instiga a refletir sobre temas complexos que afetam diretamente o presente e o futuro próximo da humanidade. Com sólido embasamento histórico, social e econômico, Yuval Noah Harari alerta para problemáticas urgentes que vivenciamos e mostra como essas questões podem tanto se agravar quanto ser atenuadas, dependendo de nossas escolhas coletivas e individuais. Ao mesclar assuntos como o avanço dos algoritmos, da inteligência artificial e do big data — que já conhecem mais sobre nós do que nós mesmos — com temas como biotecnologia e manipulação genética, o autor nos apresenta um cenário em que postos de trabalho estão desaparecendo em larga escala, sem que alternativas viáveis sejam oferecidas à maioria da população para garantir sua subsistência. Soma-se a isso a obsolescência acelerada de conhecimentos e profissões, a deterioração ecológica em escala global, e a fragilidade das narrativas sociais capazes de nos unir em torno da dignidade humana.

Harari também examina as novas formas de exercício do poder, os desafios dos regimes democráticos diante do avanço de governos autoritários e a influência da religião no cenário político contemporâneo. Com clareza, ele demonstra como temas aparentemente distantes — como tecnologia, espiritualidade, política e economia — estão interligados e exercem efeitos profundos sobre nossas vidas em sociedade. Por fim, o autor destaca a importância do aprendizado contínuo e do autoconhecimento como ferramentas

essenciais para viver em comunidade e contribuir positivamente para a construção de uma sociedade mais consciente, justa e resiliente. Em tempos de incerteza, cultivar a lucidez e a responsabilidade torna-se um ato transformador.

Apesar de publicado há oito anos, *21 Lições para o Século 21*, de Yuval Noah Harari, mantêm-se atual ao abordar com profundidade os desafios contemporâneos da humanidade. Com uma abordagem instigante e fundamentada, o autor nos convida a refletir sobre o modelo de desenvolvimento vigente, expondo seus impactos sociais e ambientais — frequentemente ignorados diante da lógica do progresso acelerado e da exploração irrestrita dos recursos naturais.

Esse panorama dialoga diretamente com os temas discutidos na série *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas*, que busca oferecer respostas práticas e teóricas aos problemas socioambientais urgentes. Assim como Harari propõe uma revisão crítica do nosso papel no planeta, nossos livros defendem a necessidade de mudanças profundas na forma como nos relacionamos com a natureza, enfatizando a Agroecologia como alternativa concreta e transformadora. Mais do que uma prática agrícola sustentável, a Agroecologia integra justiça social, conservação ambiental e valorização das comunidades locais.

A interdisciplinaridade é outro ponto comum entre as obras. Enquanto Harari aponta o impacto crescente das tecnologias, como a inteligência artificial e o big data, sobre o futuro da humanidade, nossos volumes discutem como essas ferramentas podem ser utilizadas em favor da sustentabilidade — por exemplo, no monitoramento de áreas degradadas ou no controle biológico de pragas, como alternativas ao uso intensivo de agrotóxicos. A tecnologia, nesse contexto, deve ser aliada da restauração e não da degradação ambiental.

Além disso, a série *Tópicos* se alinha à Agenda 2030 da ONU, contribuindo com subsídios para políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável. Harari, ao destacar as tensões entre inovação tecnológica, humanismo e meio ambiente, reforça a urgência de incluir essas reflexões em planejamentos estratégicos globais e locais.

O décimo volume da série reafirma esse compromisso, promovendo a sustentabilidade socioambiental e alertando, em consonância com *Homo Deus*, para os riscos de um futuro em que algoritmos possam suplantar a autonomia

humana. Ambos os projetos reconhecem, no entanto, que a mudança é possível, desde que baseada em ações colaborativas, educação transformadora e decisões conscientes.

A parceria entre pesquisadores, alunos e instituições, valorizada na produção da série *Tópicos*, é um componente central para fomentar inovações e disseminar conhecimento. Em última análise, tanto Harari quanto os autores da série compartilham uma mesma convicção: a de que a construção de uma sociedade mais justa, equilibrada e sustentável depende da nossa capacidade de reflexão crítica, cooperação e engajamento com o futuro do planeta.

Na EPÍGRAFE, compartilho o poema “Apelo” da poetisa e Mestre pelo PPGA do Ifes campus de Alegre Julia Falqueto Ambrosim, demonstrando uma das demandas fundamentais aqui levantadas e suas correlações.

O poema *Apelo* revela, sob a minha análise, por meio de uma lírica intimista, uma profunda inquietação existencial diante do tempo, da natureza e do próprio ato de criar. Sob o céu estrelado e diante da lua cheia, o eu poético se posiciona como um ser em busca de sentido — rememorando sonhos, escrevendo poemas e confrontando-se com a passagem da vida. Essa experiência subjetiva, quase contemplativa, ecoa de maneira significativa com as reflexões propostas por Yuval Noah Harari em *21 Lições para o Século 21*, sobretudo no que tange à dimensão humana diante de um mundo acelerado, tecnológico e cada vez mais desvinculado de suas raízes com o tempo natural e com a própria natureza.

A imagem do vento que “transpassa as árvores e meus cabelos” remete à interdependência entre o ser humano e os ciclos ecológicos, algo central também nas práticas agroecológicas e nas discussões sobre recuperação de áreas degradadas. Há no poema uma consciência da efemeridade da existência (“quão rápido a vida passa”) que dialoga com a urgência ambiental denunciada tanto por Harari quanto pela série *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas*. Em ambas as abordagens, o tempo também se apresenta como um fator crucial: o tempo para reverter processos de degradação, para mudar paradigmas, para agir antes que seja tarde.

A referência ao passado e aos “sonhos perdidos” do eu lírico pode ser lida como uma metáfora das promessas não cumpridas do progresso moderno —

promessas de desenvolvimento que, ao se basearem em modelos extrativistas e predatórios, geraram mais exclusão e destruição ambiental do que prosperidade. Harari aponta esse dilema em diversas passagens de sua obra, ao questionar os fundamentos do crescimento econômico ilimitado e da fé cega na inovação tecnológica. Já os volumes da série *Tópicos* propõem alternativas concretas e integradas a esses modelos, especialmente por meio da agroecologia, que combina saberes tradicionais e científicos em uma proposta de reconstrução ecológica e social.

O apelo final do poema — “que não fique cego ou surdo o desejo de escrever meus versos” — ganha, nesse contexto ampliado, uma força ética e coletiva. O “desejo de escrever” ultrapassa o âmbito individual e passa a representar a expressão de resistência, de esperança e de engajamento diante das crises múltiplas que enfrentamos: ambientais, sociais, culturais. Assim como a escrita poética do eu lírico deseja sobreviver, também as vozes da agroecologia e da recuperação ambiental querem persistir — e precisam ser ouvidas. São vozes que não apenas denunciam, mas anunciam possibilidades de regeneração e justiça.

Além disso, o apelo do poema se alinha com o que Harari denomina como necessidade de consciência crítica diante das forças invisíveis (algoritmos, big data, manipulação genética, ideologias de consumo) que moldam nossas decisões. A poesia aqui é contraponto e resistência: um gesto de desaceleração, de retorno ao sensível, de revalorização do humano — assim como a agroecologia é contraponto à agricultura industrial mecanizada e homogeneizante.

Por fim, o poema funciona como um microcosmo do dilema contemporâneo: entre a memória e a urgência, entre a perda e a reconstrução, entre a individualidade e a interdependência. Ele nos lembra de que, diante da magnitude dos desafios, inclusive os ambientais, ainda podemos — e devemos — cultivar o que Harari valoriza como um dos principais legados humanos: a capacidade de contar histórias, de criar significados e de transformar o mundo através da palavra e da ação.

Agora, na epígrafe, o poema “Apelo”.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, junho de 2025.

EPÍGRAFE

“Apelo”

Debaixo desse céu estrelado
Já fiz tantos pedidos...
Pensei no passado
E nos sonhos perdidos

Olhando essa lua cheia
Escrevi poemas de amor e de tristeza
E quando o sol clareia
Sinto-me invadir de calor e nobreza

Sentindo o vento que transpassa
As árvores e meus cabelos
Vejo o quão rápido a vida passa
E quão fúteis são os meus apelos

Hoje não peço nada de absurdo
Para Deus e para o universo
Peço apenas que não fique cego ou surdo
O desejo de escrever meus versos

Julia Falqueto Ambrosim

Apresentação

A produção de materiais como livros, cadernos acadêmicos e apostilas representa uma ferramenta indispensável na difusão do conhecimento. Esses instrumentos não apenas despertam o interesse dos estudantes, mas também incentivam a cooperação mútua em torno de metas científicas e educativas. É extremamente gratificante constatar que os volumes da série *Tópicos de Recuperação de Áreas Degradadas* tenham alcançado boa receptividade, cumprindo seu papel de divulgar os estudos desenvolvidos nas disciplinas e contribuindo, de maneira concreta, para o fortalecimento do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia (PPGA) do Ifes – campus de Alegre. Essa visibilidade também tem sido essencial para atender às diretrizes de agências de fomento à pesquisa.

Paralelamente, tenho tido a satisfação de participar ativamente da elaboração de outras obras coletivas, como as séries *Tópicos em Cafeicultura* e *Tópicos em Gestão Ambiental*, além de colaborar na organização da coleção *Tópicos em Agroecologia*, coordenada com competência e sensibilidade pelo estimado Professor Otacílio José Passos Rangel. Esses projetos editoriais acompanham as transformações constantes no campo agroambiental, buscando oferecer uma abordagem cada vez mais integrada e sintonizada com desafios urgentes, como a restauração de ecossistemas degradados — eixo essencial de qualquer proposta realmente comprometida com a sustentabilidade.

O êxito dessas iniciativas tem sido possível graças à sinergia construída entre docentes, discentes e orientandos. O compartilhamento de experiências e saberes nesse processo editorial coletivo não apenas enriquece o conteúdo das publicações, mas também estimula um ambiente fértil para a inovação e o desenvolvimento de novas perspectivas.

As obras já publicadas e aquelas em fase de elaboração carregam a missão de aprofundar a compreensão crítica sobre a recuperação de áreas degradadas, propondo alternativas viáveis, científicas e participativas. Em última instância, essas ações buscam sensibilizar a sociedade e mobilizar esforços concretos em direção a práticas ambientais mais conscientes, inclusivas e sustentáveis.

O **Volume I** foi composto por três (3) capítulos, abordando os seguintes

temas:

- ✓ **Recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos;**
- ✓ **Aquicultura: Impactos ambientais negativos e a mitigação com práticas agroecológicas;**
- ✓ **Cafeicultura: Recuperação de áreas degradadas e uso de práticas agroecológicas no manejo do café em região de montanhas.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/topicos-em-recuperacao-de-areas-degradadas/>

Os Volumes II a IX seguiram a mesma diretriz estabelecida no Volume I: oferecer fundamentos sólidos para o desenvolvimento de estratégias de planejamento voltadas à *Recuperação de Áreas Degradadas (RAD)*, integrando essas ações ao manejo sustentável das atividades produtivas. Essa proposta baseia-se na aplicação de práticas agroecológicas com foco na conservação dos recursos naturais.

A continuidade dessa abordagem revelou-se não apenas pertinente, mas também altamente eficaz, garantindo uma linha editorial coerente e progressiva. Ao preservar os princípios delineados inicialmente, os volumes subsequentes aprofundaram a compreensão sobre os desafios da degradação ambiental, apresentando caminhos práticos e teóricos para a restauração de ecossistemas impactados e para a promoção de uma produção mais equilibrada e sustentável.

O segundo volume é composto por dez (10) capítulos que abordam os seguintes temas:

- ✓ **Estudos de Impactos Ambientais e seu Relatório - EIA/RIMA;**
- ✓ **Metodologias para a identificação e avaliação de efeitos e impactos ambientais;**

- ✓ Práticas de conservação de solo e água com ênfase nas “barraginhas”;
- ✓ Microrganismos simbiotes e a fixação biológica de nitrogênio;
- ✓ Uso de macroinvertebrados bentônicos como indicador de qualidade ambiental;
- ✓ Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD;
- ✓ Reuso da água na agricultura irrigada: efluentes da piscicultura e fertirrigação;
- ✓ Desigualdade social: agroecologia, “Agenda 2030” e sustentabilidade.

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad2-esp/>

O **Volume III** é composto por dez (10) capítulos que abordam os seguintes temas:

- ✓ **Avaliação de impactos ambientais: definições, glossário e conceitos;**
- ✓ **Avaliação de impactos ambientais: histórico e procedimentos;**
- ✓ **Conservação e recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APP);**
- ✓ **Recuperação de áreas degradadas da cafeicultura sob manejo de sistema agroflorestal;**
- ✓ **Fungos micorrízicos arbusculares (FMA): alternativa agroecológica para recuperação biológica dos solos degradados;**
- ✓ **A relevância da matéria orgânica para a manutenção da qualidade solo;**
- ✓ **Impactos ambientais sobre a biodiversidade do solo decorrentes do uso do fogo: agroecologia e técnicas de produção sustentáveis;**
- ✓ **Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração;**
- ✓ **Sistemas Agroflorestais em Áreas de Preservação Permanente;**
- ✓ **A agrofloresta como forma de recuperação e educação ambiental no município de Castelo, Espírito Santo.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad3/>

O **Volume IV** é composto por dez (10) capítulos que exploram os seguintes tópicos:

- ✓ **Ação da poluição nos sistemas ambientais;**
- ✓ **A trajetória da educação ambiental no Brasil e a reciclagem no município de Alegre – ES;**
- ✓ **Agroecologia como meio para a sustentabilidade da agricultura familiar;**
- ✓ **Fatores bióticos na recuperação de áreas degradadas: ação da flora e da fauna;**
- ✓ **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e a recuperação de pastagens degradadas;**
- ✓ **Sistemas agroflorestais e consórcios na cultura do café;**
- ✓ **Hortas urbanas agroecológicas;**
- ✓ **Recursos genéticos do feijão (*Phaseolus* spp.);**
- ✓ **Desenvolvimento de mudas de couve da Geórgia (*Brassica oleracea* var. *Acephala*) sob diferentes concentrações de biofertilizante;**
- ✓ **Plantas alimentícias não convencionais: sustentabilidade e diversidade no sistema de produção de base agroecológica.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad4/>

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

- ✓ **A evolução dos movimentos ambientais e o surgimento da AIA;**
- ✓ **Ações de proteção do solo: mitigação de impactos ambientais no meio rural;**

- ✓ **Agroecologia aplicada aos procedimentos de recuperação de áreas degradadas;**
- ✓ **Compostagem como prática interdisciplinar da Educação Ambiental e Agroecologia;**
- ✓ **Abordagens conservacionistas para prevenção e recuperação da degradação do solo e da água por erosão hídrica;**
- ✓ **Controle biológico na soja no sul do Maranhão;**
- ✓ **Resíduos agrícolas da pecuária leiteira;**
- ✓ **Métodos agroecológicos alternativos para o controle de formigas cortadeiras;**
- ✓ **Levantamento e planejamento conservacionista de pequena propriedade rural no município de Caiana, MG, Brasil;**
- ✓ **Degradação de pastagens: estudo de caso dos procedimentos de recuperação no Município de Atílio Vivácqua, ES.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad5/>

O **Volume VI**, composto por dez (10) capítulos, aborda os seguintes temas:

- ✓ **A dispersão natural de sementes com enfoque em síndromes zoocóricas;**
- ✓ **Revegetação, matéria orgânica e a sustentabilidade nos procedimentos de recuperação de solos degradados;**
- ✓ **Estratégias de recuperação de áreas degradadas;**
- ✓ **Identificação e caracterização dos riscos à degradação ambiental de microbacias hidrográficas em assentamentos de reforma agrária por meio de técnicas de geoprocessamento e da análise espacial multicritério: uma proposta;**
- ✓ **Viabilidade técnica da utilização de resíduo do beneficiamento de granito na indústria e na agricultura;**
- ✓ **Potencial de óleos essenciais de espécies nativas no controle de *Fusarium verticillioides* em sementes de milho;**

- ✓ **Produção de mudas do café sob diferentes teores de composto orgânico;**
- ✓ **Levantamento socioeconômico e experiências agroecológicas das mulheres ribeirinhas nos quintais da Ilha Saracá, Limoeiro do Ajuru, estado do Pará;**
- ✓ **Abordagem gerencial para o desenvolvimento da agricultura familiar com base no sistema de produção agroecológica;**
- ✓ **Extensão rural - acesso à informação e ao livre mercado.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad6/>

O **Volume VII**, composto por dez (10) capítulos, aborda os seguintes temas:

- ✓ **A degradação dos biomas brasileiros e o papel ecológico das abelhas nativas na regeneração natural**
- ✓ **Utilização de plantas de crescimento espontâneo e alimentícias não convencionais como estratégia de atração à fauna de abelhas em cultivos de café**
- ✓ **Externalidades e impactos ambientais negativos: fator antrópico, capital natural e práticas agroecológicas mitigadoras**
- ✓ **Meliponicultura, educação ambiental e recuperação de áreas degradadas: sustentabilidade no município de Muniz Freire, ES**
- ✓ **Produção de madeira, sequestro de carbono, SAFs e fomento florestal**
- ✓ **Importância das unidades de conservação como prática de preservação e educação ambiental no ensino escolar**
- ✓ **Desafios agroecológicos da produção sucroalcooleiro pós-Revolução Verde**
- ✓ **Cultivo de batata-doce irrigada com águas residuárias tratada em pequenas propriedades rurais no semiárido**
- ✓ **Agricultura 4.0: Agroecologia 5.0?**
- ✓ **Pluriatividade no novo rural brasileiro e o papel da agroecologia.**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad7/>

O **Volume VIII** é composto também por dez (10) capítulos:

- ✓ **Métodos agroecológicos: abordagens, técnicas e práticas conservacionistas de conservação de água e solo**
- ✓ **Agricultura regenerativa: abordagens, técnicas e práticas conservacionistas de água e solo no Sítio Jaqueira Agroecologia**
- ✓ **Bioteχνologias e procedimentos alternativos na recuperação de pastagens**
- ✓ **Degradação nas pastagens da Zona da Mata Mineira: uso de biotecnologias e práticas conservacionistas nos procedimentos de recuperação**
- ✓ **Processos de degradação ambiental, demanda por madeira e manejo em florestas plantadas**
- ✓ **A importância do componente arbóreo nos sistemas agrofloreais**
- ✓ **Sistemas silvipastoris: conforto térmico de bovinos leiteiros e recuperação de pastagens degradadas**
- ✓ **Viabilidade econômica da produção agroecológica integrada e sustentável na região do Caparaó Capixaba: programa REFLORESTAR**
- ✓ **Hortas urbanas: desafios e potencialidades para o desenvolvimento sustentável de Cachoeiro de Itapemirim – ES**
- ✓ **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs): nutrição, sustentabilidade, agroecologia e recuperação de áreas degradadas**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad8/>

O **Volume IX** é composto por dez (10) capítulos:

- ✓ **Desafios e perspectivas da agroecologia para alcançar a realização dos objetivos do desenvolvimento sustentável**
- ✓ **Controle de plantas espontâneas: práticas para o aperfeiçoamento da produção e sustentabilidade**
- ✓ **Homeopatia vegetal: potencial e aplicações no manejo fitossanitário**
- ✓ **Controle biológico como solução agroecológica na redução do uso de agrotóxicos**
- ✓ **Conservação da biodiversidade em bancos de germoplasma: um olhar para o futuro**
- ✓ **Uso de resíduos de esgoto em sistemas de produção agroecológicos: formas, leis e resultados**
- ✓ **Reaproveitamento do resíduo agroindustrial do sisal como prática agroecológica**
- ✓ **Viabilidade técnica da utilização de resíduo do beneficiamento de granito na agricultura,**
- ✓ **Impactos ambientais das bitucas de cigarros: redução por meio de reciclagem e compostagem**
- ✓ **Adoção de SAFs: um modelo eficiente para a recuperação ecológica e geração de renda**

Disponível em:

<https://www.meridapublishers.com/rad9/>

O **Volume X** da série *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas* tem como propósito estimular o aprofundamento do conhecimento e da reflexão crítica sobre práticas agrícolas pautadas na sustentabilidade, ressaltando a urgência de uma gestão ambiental ética e consciente. A obra se dedica a explorar, de forma integrada, temas fundamentais como a restauração de ecossistemas degradados, os princípios da agroecologia e o desenvolvimento de soluções práticas frente aos desafios ambientais e socioeconômicos atuais.

Mais do que informar, este volume busca sensibilizar e capacitar profissionais do setor agropecuário, educadores, estudantes e a sociedade em geral, reforçando

a importância da transição para modelos produtivos mais equilibrados. Ao propor alternativas viáveis e sustentáveis, o livro contribui para a construção de um futuro em que a atividade humana esteja em maior consonância com os limites e dinâmicas da natureza.

O presente **Volume X** também é composto por dez (10) capítulos:

Capítulo I, Recuperação de áreas degradadas: fundamentos e objetivos da reabilitação ambiental, aponta que a recuperação de áreas degradadas é essencial para reduzir os impactos da mineração, agricultura e pecuária sobre solo, vegetação e biodiversidade. Mais que replantar espécies nativas, o processo visa restaurar funções ecológicas vitais, como regulação climática e fertilidade do solo, por meio de técnicas locais adaptadas. A participação comunitária, valorizando saberes tradicionais e educação ambiental, é fundamental para fortalecer a conexão com a natureza. Essa recuperação deve ser contínua e colaborativa, sustentada por políticas públicas eficazes e pelo engajamento social, promovendo a resiliência dos ecossistemas e o desenvolvimento sustentável.

O Capítulo II, Transição sustentável: caminhos para a construção de sistemas produtivos resilientes, analisa os caminhos para a efetivação do desenvolvimento sustentável no meio rural brasileiro, destacando a necessidade de políticas públicas eficazes e diretrizes claras para sua implementação. Diante dos limites ecológicos já ultrapassados, é urgente adotar modelos produtivos que integrem crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. Contudo, o conceito de desenvolvimento sustentável tem sido banalizado, perdendo sua profundidade teórica e prática, o que preocupa especialistas. Embora ganhasse destaque político a partir do Relatório Brundtland (1987) e da Rio-92, os desafios atuais — mudanças climáticas, perda da biodiversidade e desigualdades sociais — exigem uma articulação ampla entre setores da sociedade. Para avançar, é fundamental fortalecer economias locais, valorizar a agroecologia, promover cadeias produtivas de baixo impacto e democratizar o acesso aos recursos naturais. A sustentabilidade depende da capacidade de reinventar nossas formas de viver, produzir, consumir e interagir com o meio ambiente.

O Capítulo III, Educação ambiental na escola: formação de valores transitando entre os espaços formais e não formais de ensino, reflete sobre a conexão entre Educação Escolar (EE) e Educação Ambiental (EA), ressaltando o papel fundamental da escola na formação de uma sociedade consciente e comprometida com a sustentabilidade e a qualidade de vida. A EA, ao incentivar mudanças de hábitos e atitudes, contribui para a preservação ambiental e a construção de uma cidadania ativa, dependente do engajamento coletivo e individual diante da degradação ambiental. O estudo valoriza princípios como cooperação, igualdade, autonomia, democracia e participação, defendendo uma pedagogia que integre o conteúdo curricular às experiências dos alunos, usando o ambiente como recurso didático e promovendo a investigação científica de fenômenos próximos à realidade dos estudantes. Assim, a escola se torna um espaço para desenvolver consciência crítica e fomentar uma relação harmoniosa e horizontal entre humanos, demais seres e meio ambiente, essencial para o equilíbrio ecológico e o uso sustentável dos recursos naturais.

O Capítulo IV, Estratégias de recuperação ambiental em solos contaminados por agroquímicos e metais pesados: técnicas de engenharia e fitorremediação, mostra que o crescimento populacional e a intensificação agrícola têm provocado o uso excessivo de agrotóxicos e a contaminação do solo por metais pesados, afetando biodiversidade, ecossistemas e saúde humana. Enquanto parte dos contaminantes pode ser degradada ou retida no solo, os metais pesados acumulam-se devido à sua toxicidade e persistência, dificultando a recuperação ambiental. A poluição hídrica e a bioacumulação agravam esses impactos. Estratégias como fitorremediação, biorremediação, uso de microrganismos e revegetação com espécies adaptadas são promissoras, mas ainda faltam pesquisas e políticas públicas específicas para a remediação eficaz dessas áreas.

O Capítulo V, Autenticação e caracterização de isolados de bactérias fixadoras de nitrogênio associadas a leguminosas nativas em áreas degradadas de campos rupestres, caracterizou isolados bacterianos de nódulos radiculares de 12 leguminosas nativas de campos rupestres em áreas degradadas de Diamantina (MG). Foram obtidos 149 isolados, dos quais 51 foram testados para nodulação em feijão-caupi e feijão-comum, sem sucesso, sugerindo especificidade simbiótica às leguminosas nativas. Fatores ambientais também podem ter afetado os resultados. Recomenda-se que futuras pesquisas utilizem as plantas hospedeiras originais e controlem melhor as condições

ambientais. Apesar disso, os achados contribuem para identificar microrganismos nativos com potencial na recuperação de áreas degradadas.

O Capítulo VI, Efeitos do plantio direto na qualidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo: uma abordagem integrada, mostra que o Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma prática conservacionista essencial para a sustentabilidade agrícola em solos tropicais, como o Argissolo Vermelho-Amarelo. Esta revisão analisou seus efeitos sobre indicadores físicos e químicos do solo, incluindo textura, dispersão de argila, umidade, pH, matéria orgânica e micronutrientes. Os resultados mostram que o SPD melhora a estrutura e estabilidade do solo, aumenta a retenção e disponibilidade de água, eleva a matéria orgânica e nutrientes na camada superficial, favorecendo a atividade biológica e a fertilidade do solo. Dessa forma, o SPD promove maior produtividade e conservação dos recursos naturais, sendo uma estratégia eficaz para manter e recuperar a qualidade do solo em áreas agrícolas degradadas ou vulneráveis à erosão.

O Capítulo VII, Panorama da agricultura familiar: uma análise multiescalar do Brasil ao Caparaó Capixaba, sugere que a agricultura familiar, historicamente ligada à subsistência, consolidou-se como expressão de vínculo afetivo e simbólico com a terra, promovendo práticas produtivas menos impactantes ao meio ambiente. Este estudo apresenta um panorama da agricultura familiar no Brasil, com foco no Espírito Santo e na região do Caparaó Capixaba, destacando sua evolução, desafios e potencialidades. A análise reforça a importância do território como elemento de pertencimento e identidade, e propõe a valorização da agricultura familiar como base para o desenvolvimento rural sustentável, considerando sua capacidade de integrar produção, preservação ambiental e fortalecimento das comunidades locais.

O Capítulo VIII, Análise de Sustentabilidade do Programa Gestágua: Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no Município de Alegre-ES, afirma que a degradação ambiental no meio rural brasileiro exige soluções integradas, e o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) destaca-se como uma estratégia promissora ao aliar conservação e geração de renda. O Programa Gestágua, em Alegre-ES, exemplifica essa abordagem ao incentivar práticas conservacionistas entre agricultores familiares, promovendo a recarga hídrica, o controle da erosão e a melhoria da qualidade de vida. Por meio da articulação entre SEMADS e CMMA, a iniciativa fortalece a sustentabilidade local, valorizando o trabalho no campo e incentivando a diversificação econômica com base na proteção

ambiental.

O Capítulo IX, Entre a produção e o prejuízo: a dualidade dos agrotóxicos na saúde humana, mostra que o uso intensivo de agrotóxicos na agricultura tem gerado sérias preocupações quanto aos impactos à saúde humana e ao meio ambiente. Embora contribuam para o controle de pragas e o aumento da produtividade, esses compostos químicos podem contaminar o ar, a água e os alimentos, expondo trabalhadores rurais, consumidores e populações vizinhas a riscos tóxicos. Estudos apontam sua associação com intoxicações, doenças crônicas, distúrbios hormonais e cânceres, afetando especialmente crianças e populações vulneráveis. Diante disso, torna-se urgente o fortalecimento da regulamentação, o monitoramento rigoroso do uso e a adoção de alternativas como o manejo integrado de pragas e a agricultura orgânica, que favorecem sistemas produtivos mais seguros e sustentáveis.

O Capítulo X, Entre o cultivo e o compromisso: agroecologia, justiça social e sustentabilidade em debate, afirma que a agroecologia apresenta-se como uma alternativa sustentável e estratégica ao modelo agroindustrial dominante, ao unir práticas agrícolas ecológicas com justiça social e valorização dos saberes tradicionais. Promovendo a autonomia dos agricultores, a soberania alimentar e a regeneração dos ecossistemas, os sistemas agroecológicos reduzem a dependência de insumos externos e favorecem a inclusão de grupos historicamente marginalizados. Ao integrar produção, conservação ambiental e organização comunitária, a agroecologia fortalece o desenvolvimento rural sustentável, sendo fundamental frente às mudanças climáticas, à degradação ambiental e às desigualdades no campo.

Nas **considerações finais,** discute-se que a crescente degradação ambiental, aliada 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. Os impactos desse modelo – expressos na erosão dos solos, contaminação dos recursos hídricos, perda da biodiversidade e agravamento das desigualdades sociais – evidenciam sua insustentabilidade. Este trabalho buscou, portanto, problematizar as limitações desse paradigma e apontar caminhos alternativos pautados na agroecologia, na valorização dos saberes tradicionais e no uso racional dos recursos naturais.

Ao longo da discussão, abordaram-se temas como a importância do Sistema de Plantio Direto (SPD) na recuperação da estrutura e fertilidade dos solos tropicais; a relevância da agricultura familiar, com destaque para o Espírito Santo e a região do Caparaó Capixaba, como base de um desenvolvimento rural mais justo e enraizado nos territórios; e a ameaça representada pelos agrotóxicos à saúde humana, especialmente para populações rurais e grupos vulneráveis, como crianças e trabalhadores do campo.

Além disso, analisou-se o potencial de estratégias como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) – exemplificado pelo Programa Gestágua, em Alegre (ES) – na promoção da sustentabilidade e na geração de renda para agricultores que adotam práticas conservacionistas. Destacou-se, ainda, a importância da biodiversidade microbiana, como no caso dos isolados bacterianos obtidos de leguminosas nativas em áreas degradadas, revelando caminhos promissores para a recuperação ecológica por meio da biotecnologia e da simbiose vegetal-microbiana.

A agroecologia, ao integrar saberes tradicionais, ciência e práticas regenerativas, surge como eixo estruturante de um novo paradigma agrícola. Sua abordagem sistêmica considera a dimensão ecológica, social, política e econômica da produção de alimentos, propondo alternativas que fortalecem a soberania alimentar, a justiça social e a resiliência dos agroecossistemas. Trata-se de um modelo que valoriza a diversidade cultural e biológica, reconhece o papel central das mulheres e comunidades tradicionais e promove a reconexão entre campo e cidade.

Dessa forma, este trabalho não se propôs apenas a uma análise teórica, mas a um chamado à ação. Espera-se que os conhecimentos aqui sistematizados inspirem práticas transformadoras em múltiplos contextos – seja na formulação de políticas públicas, na atuação técnica, no ensino ou na vida cotidiana dos que lidam com a terra e a alimentação. O futuro da agricultura, e da própria humanidade, depende da adoção de sistemas que respeitem os limites dos ecossistemas e coloquem a vida no centro das decisões.

Em síntese, a construção de um novo modelo de produção e consumo – ancorado na agroecologia – não é uma utopia distante, mas uma necessidade imediata diante dos desafios socioambientais do presente. A esperança concreta

reside na multiplicação de experiências locais que, enraizadas nos territórios, sejam capazes de regenerar solos, ecossistemas e vínculos comunitários, garantindo qualidade de vida para as atuais e futuras gerações.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, junho de 2025.

Autores

Acácio Radael de Assis

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: acacioradael33@gmail.com

Adriana Rezende Bigli

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: professorabighi@gmail.com

Aline Marchiori Crespo

Extensionista da INCAPER Cachoeiro do Itapemirim e Mestra pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes *campus* de Alegre, Caixa Postal 47. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: alinemcrespo@gmail.com

Andre Geaquinto Ferri

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: andregeafer@gmail.com

Aramis Cortes de Araujo Junior

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: aramiscortes@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.

Bianca Perciliano Fim

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: percilianob@gmail.com

Camila Dutra Pimenta

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: camiladutrapimenta@gmail.com

Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira

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: carlos.oliveira@ifes.edu.br

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

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

Dauvane Macinele Gomes dos Santos

Especialista em Agroecologia e Sustentabilidade e Engenheira Florestal. CEP: 39.683-580. Capelinha, MG. E-mail: dauvanesantos@gmail.com

Dyllan Rodrigues Rocha

Licenciado em Ciências Biológicas e Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes – Campus Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre, ES. E-mail: dyllan.rocha@educacao.mg.gov.br

Elielton Almeida de Sousa

Bacharel em Arquitetura e Urbanismo, Licenciado em Pedagogia, Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade e Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre, ES. Email: eas.elielton@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

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

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

Graciandre Pereira Pinto

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: graciandrepp@gmail.com

Jaínny Julianny Mathias das Neves

Bacharelada em Ciências Biológicas, Pós-graduada em Biologia Vegetal e Segurança do Trabalho e Meio Ambiente, Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes – Campus Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre, ES. E-mail: bio.jainnymathias@gmail.com

Jéssica Delesposte Destefani

Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre, ES. E-mail: jessicaddestafani@gmail.com

Julia Falqueto Ambrosim

Licenciada e Bacharelada em Ciências Biológicas 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: juliafalqambro@gmail.com

Karla Pereira Sardinha

Engenheira Florestal. CEP 39750-000. Sabinópolis, MG. E-mail: karlap.engflorestal@gmail.com

Kimberly Pinheiro de Oliveira

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: kimberlly4002@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

Lessa Braz Lopes

Licenciada e Bacharelada em Ciências Biológicas, Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, CEP: 29.520-000, Alegre, ES. E-mail: bio.lessalopes@gmail.com

Lígia Moysés Nascimento

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: sancio.ligia@gmail.com; olharmilenar@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.

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

Marcus Vinicius Dutra de Magalhães

Pós-graduado em Agroecologia e Sustentabilidade pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Sustentabilidade do Instituto Federal do Espírito Santo, Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: marcusdutra123@gmail.com

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.

Maria Aparecida Fernandes

Bacharelada em Engenharia Agrônômica, Técnica em Agroindústria, Técnico em Agronegócio, Especialista em Agroecologia e Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes campus Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre, ES. E-mail: mferadic3@gmail.com

Maurício Novaes Souza

Professor Titular 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

Michele Aparecida Pereira da Silva

Doutora em Ciências Ambientais e Florestais. Mestre em Microbiologia Agrícola. Engenheira Florestal. Caixa Postal 3037, CEP: 37.200-000. Lavras, MG. E-mail: michele.aparecida@ufla.br

Naianni de Sillis Rezende

Graduanda em Bacharelado em Ciências Biológicas no Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre. Caixa Postal 16. CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: naianni.sr@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

Otávio Pereira Araujo

Mestre 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: araujo.otavio1994@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

Robson Contaefer Moreli

Graduado em Tecnologia em Rochas Ornamentais, Especialista em Educação e Gestão Ambiental e 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: rmcontaefer@yahoo.com.br.

Sandra Regina dos Santos Moreira de Oliveira

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre, ES. E-mail: sandra.eafa@gmail.com

Silvane de Almeida Campos

Doutora em Fitotecnia pela UFV e Agroecóloga pelo IFSEMG campus Rio Pomba. Rua Dr. Queiroz, 168. Rio Pomba, MG. CEP: 36.180-000. E-mail: silvaneacampos@yahoo.com.br

Simone Wellita Simão de Carvalho

Mestre em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre e Doutoranda pela UFES campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre, ES. E-mail: simonewellita@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

Ubaldo 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.

Vívia Motta Leal

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: viviamotta@hotmail.com

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 44

Recuperação de áreas degradadas: fundamentos e objetivos da reabilitação ambiental

Maurício Novaes Souza, Lígia Moyses Nascimento, Adriana Rezende Bighi, Bianca Perciliano Fim, Camila Dutra Pimenta, Regiane Carla Bolzan Carvalho, Graciandre Pereira Pinto, Ubaldino Saraiva, Barbara Petri Massariol, Robson Contaefer Moreli, Atanásio Alves do Amaral

CAPÍTULO 2 68

Transição sustentável: caminhos para a construção de sistemas produtivos resilientes

Maurício Novaes Souza, Marcus Vinicius Dutra de Magalhães, Lessa Braz Lopes, Atanásio Alves do Amaral, Flávia Muniz, Thiara Azevedo Pancotto

CAPÍTULO 3 112

Educação ambiental na escola: formação de valores transitando entre os espaços formais e não formais de ensino

Camila Dutra Pimenta, Flávia Muniz, Thiara Azevedo Pancotto, Aramis Cortes de Araujo Junior, Wanderson Facco Colodetti, Atanásio Alves do Amaral, Willian Moreira da Costa, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 4 140

Estratégias de recuperação ambiental em solos contaminados por agroquímicos e metais pesados: técnicas de engenharia e fitorremediação

Maurício Novaes Souza, Naianni de Sillis Rezende, Atanásio Alves do Amaral, Oseas de Almeida Lima, Esteffany Pereira da Silva, Daniel Schwan Monteiro de Sousa, Larissa Viana Bruneli

CAPÍTULO 5 163

Autenticação e caracterização de isolados de bactérias fixadoras de nitrogênio associadas a leguminosas nativas em áreas degradadas de campos rupestres

Dauvane Macinele Gomes dos Santos, Jaínny Juliany Mathias das Neves, Karla Pereira Flávio, Michelle Santos Silva, Aline Marchiori Crespo, Maurício Novaes Souza, Atanásio Alves do Amaral

CAPÍTULO 6 179

Efeitos do plantio direto na qualidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo: uma abordagem integrada

Silvane de Almeida Campos, Acácio Radael de Assis, Dyllan Rodrigues Rocha, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 7 204

Panorama da agricultura familiar: uma análise multiescalar do Brasil ao Caparaó Capixaba

Vívia Motta Leal, Maurício Novaes Souza, Elielton Almeida de Sousa, Gabriela Alves de Novaes, Atanásio Alves do Amaral

CAPÍTULO 8 227

Análise de Sustentabilidade do Programa Gestágua: Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no Município de Alegre-ES

Sandra Regina dos Santos Moreira de Oliveira, Lucas de Brites Senra, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 9 245

Entre a produção e o prejuízo: a dualidade dos agrotóxicos na saúde humana

Ubalduino Saraiva, Kimberly Pinheiro de Oliveira, Wagner Gonçalves de Sá, Atanásio Alves do Amaral, Maria Angélica Alves da Silva Souza, Maurício Novaes Souza

CAPÍTULO 10..... 276

Entre o cultivo e o compromisso: agroecologia, justiça social e sustentabilidade em debate

Jéssica Delesposte Destefani, Simone Wellita Simão de Carvalho, André Geaquinto Ferri, Otávio Pereira Araujo, Atanásio Alves do Amaral, Clarissa Alves de Novaes, Maria Aparecida Fernandes, Márcio Menegussi Menon, Maria Angélica Alves da Silva Souza, Maurício Novaes Souza

CONSIDERAÇÕES FINAIS 311

CAPÍTULO 1

Recuperação de áreas degradadas: fundamentos e objetivos da reabilitação ambiental

Maurício Novaes Souza, Lígia Moyses Nascimento, Adriana Rezende Bighi, Bianca Perciliano Fim, Camila Dutra Pimenta, Regiane Carla Bolzan Carvalho, Graciandre Pereira Pinto, Ubaldino Saraiva, Barbara Petri Massariol, Robson Contaefer Moreli, Atanásio Alves do Amaral

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c1>

Resumo

A recuperação ambiental de áreas degradadas é fundamental para mitigar os impactos das atividades humanas, como mineração, agricultura intensiva e pecuária, que comprometem o solo, a vegetação e a biodiversidade. Este artigo analisa estratégias ecológicas integradas, destacando a importância de considerar aspectos ecológicos, sociais e econômicos para garantir resultados duradouros. Mais do que o replantio de espécies nativas, a recuperação busca restabelecer funções ecológicas essenciais — como a regulação climática, a purificação da água e a fertilidade do solo — por meio de técnicas adaptadas às condições locais. O envolvimento das comunidades é decisivo: a inclusão social, a valorização dos saberes locais e a educação ambiental fortalecem o vínculo entre população e natureza. A recuperação ambiental deve ser entendida como um processo contínuo e colaborativo, apoiado por políticas públicas eficazes e pelo engajamento de todos os setores da sociedade, a partir de uma visão sistêmica e de um pensamento holístico, promovendo, assim, a resiliência dos ecossistemas e o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Recuperação ecológica. Sustentabilidade. Políticas públicas. Serviços ecossistêmicos. Educação ambiental. Comunidades locais. Técnicas de recuperação.

1. Introdução

Este artigo tem como objetivo apresentar, de forma clara e objetiva, o conceito de recuperação ambiental — ou recuperação de áreas degradadas — com base em definições elaboradas por especialistas das ciências agrárias e ambientais ao longo dos anos. A análise parte do marco jurídico estabelecido pela Constituição Federal de 1988, que, em seu artigo 225 e seguintes, reconhece o meio ambiente ecologicamente equilibrado como um direito fundamental, assegurando a todos o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988). Este direito é complementado por um conjunto de legislações infraconstitucionais, entre as quais se destaca a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981).

Durante décadas, práticas agropecuárias convencionais provocaram severos impactos ambientais, especialmente sobre o solo, a vegetação e os recursos hídricos. Contudo, esse cenário tem se transformado com a adoção de sistemas mais sustentáveis, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), que visa conciliar a produção com a conservação dos recursos naturais (Muniz; Lima Felix, 2024). Desde a Revolução Industrial e, posteriormente, com a Revolução Verde, a degradação ambiental superou os esforços de conservação ecológica, tornando indispensável a adoção de estratégias para restaurar ecossistemas degradados, danificados ou profundamente alterados pela ação humana (Kohlrausch; Jung, 2015; Aronson *et al.*, 2020).

Um ecossistema degradado é caracterizado pela eliminação dos mecanismos naturais de regeneração, incluindo a perda da vegetação nativa, do banco de sementes, de plântulas, de estruturas vegetativas com potencial de rebrota, além da remoção da fauna associada e da alteração do solo e do regime hídrico (Carpanezzi *et al.*, 1990; IBAMA, 1990). Nessas condições, a resiliência ambiental é profundamente comprometida, dificultando ou mesmo inviabilizando a regeneração natural, sendo necessária, portanto, a intervenção antrópica para restabelecer as funções ecológicas do ecossistema. Por outro lado, ecossistemas apenas perturbados ou alterados ainda conservam certo grau de regeneração natural, exigindo apenas ações de assistência à regeneração (Rodrigues *et al.*, 2011; Chazdon, 2014; Souza, 2018).

A partir do final dos anos da década de 1980, intensificaram-se os esforços para a construção de indicadores ambientais capazes de subsidiar políticas públicas, tratados internacionais e decisões técnicas. Tais indicadores buscam compreender e monitorar a interação entre as atividades humanas e os processos naturais, orientando práticas mais sustentáveis (Braga *et al.*, 2004; Lira; Cândido, 2008; Ferreira *et al.*, 2022).

A degradação ambiental, definida como a deterioração progressiva da qualidade do meio ambiente, também pode ser descrita pelos termos "devastação ambiental" e "deterioração ecológica" (Lemos, 2001). No Brasil, embora a agropecuária represente um setor fundamental da economia, é igualmente apontada como uma das principais causas da degradação dos ecossistemas, sobretudo quando conduzida de forma extensiva e sem critérios de sustentabilidade (Fernandes; Cunha; Silva, 2005; Moura *et al.*, 2021).

Para ilustrar a complexidade e a urgência do tema, apresenta-se, na sequência, o registro de uma propriedade rural com áreas em estado avançado de degradação, cuja recuperação exige medidas técnicas específicas e esforços integrados (Figura 1).



Figura 1. Rodovia Afonso Cláudio. Fonte: Acervo Graciandre Pereira Pinto, 2024.

2. Considerações sobre área degradada

Considerando que os sistemas ecológicos armazenam diferentes formas de energia, pode-se afirmar que a degradação ambiental está diretamente relacionada à perda dessa energia. Blum (1998) identifica três tipos principais de energia envolvidos nos compartimentos ambientais. A primeira é a energia gravitacional, que rege os movimentos de sólidos, líquidos e gases, influenciando processos como erosão e sedimentação. A segunda é a energia conservada, proveniente das forças internas da Terra, como pressão e temperatura, presente no material de origem. A terceira, e mais relevante para a dinâmica dos ecossistemas, é a energia solar — essencial para o crescimento vegetal por meio da fotossíntese, que converte o gás carbônico atmosférico em compostos orgânicos que posteriormente se integram ao solo.

A partir dessa abordagem, em que as funções e o uso do solo estão baseados em sua energia armazenada, a degradação pode ser compreendida como a perda dessas funções, refletindo o declínio da energia disponível no sistema. Assim, a análise da degradação ambiental pode ser feita com base nas diferentes formas de energia envolvidas. Consequentemente, qualquer estratégia de recuperação ou uso de áreas degradadas deve considerar o nível de energia residual presente no ecossistema (Kobiyama *et al.*, 2001).

Embora muitos conceitos sobre áreas degradadas priorizem o solo ou a terra, é fundamental reconhecer que esses ambientes também abrangem elementos como água, ar e organismos. Nessa perspectiva sistêmica, Kobiyama *et al.* (1993) definem a degradação como "processos e fenômenos do meio ambiente, naturais ou antropogênicos, que prejudicam as atividades de um ou mais organismos". Com base nessa definição, os autores introduzem o conceito de entropia (S), representada pela equação $dS = dQ/T$ — em que S é entropia, Q é o calor transferido, e T é a temperatura. Nesse contexto, a entropia simboliza a "sujeira" do sistema, isto é, a desorganização ou desarmonia dos processos ambientais. Assim, áreas degradadas são caracterizadas por apresentarem maior entropia do que ambientes equilibrados.

Odum (1988) reforça essa concepção ao definir entropia como a medida da energia que se torna indisponível para realizar trabalho útil após processos de transformação. Ele destaca que nenhum processo natural ocorre sem perdas

energéticas — em geral, na forma de calor dissipado — e que, quanto menor a entropia (ou seja, quanto menor a energia dissipada), maior é a eficiência do sistema ecológico.

Nas ciências químicas, a entropia é comumente associada à Segunda Lei da Termodinâmica, a qual postula que, em qualquer processo espontâneo, a entropia de um sistema isolado tende a aumentar ou, no mínimo, permanecer constante. Em termos práticos, isso significa que os sistemas evoluem naturalmente para estados de maior desordem e menor capacidade de aproveitamento energético (Russel, 2000).

Aplicando esse conceito à análise de áreas degradadas, a entropia pode ser utilizada para compreender a dispersão de poluentes em solos e corpos d'água. Em ambientes contaminados, por exemplo, a tendência dos poluentes em se espalhar até alcançar concentrações uniformes reflete o aumento da entropia, caracterizando maior aleatoriedade no sistema (Fortini *et al.*, 2020) (Figura 2).



Figura 2. Desmatamento, erosão e assoreamento dos corpos hídricos. Fonte: g1.com.br, 2024.

Compreender os conceitos de energia e entropia em áreas degradadas é, portanto, essencial para a formulação de estratégias de recuperação ambiental. Reconhecer que a degradação implica perda de energia utilizável e aumento da

desorganização permite identificar de forma mais precisa os desafios envolvidos, além de contribuir para o desenvolvimento de soluções eficientes. Tal abordagem exige uma visão holística, que considere solo, água, ar e organismos como elementos interdependentes, promovendo uma recuperação sustentável e ecologicamente equilibrada.

3. Considerações sobre Recuperação Ambiental

No âmbito da recuperação ambiental, os termos recuperação, reabilitação e restauração são frequentemente utilizados de forma intercambiável, embora possuam significados distintos. Segundo Toy e Daniels (1998), há três categorias principais de tratamento do solo. A **reabilitação** visa devolver ao solo sua forma e produtividade, conforme sua capacidade de uso, priorizando a estabilidade física e o equilíbrio ecológico, de modo que o solo não contribua para a deterioração ambiental e preserve os valores estéticos da paisagem. A **recuperação** busca tornar o local novamente adequado para abrigar organismos originalmente presentes ou espécies similares às da biota nativa. Já a **restauração** objetiva reconstituir as condições ambientais anteriores à perturbação, tanto em estrutura quanto em função ecológica.

Os mesmos autores destacam que os termos relacionados à recuperação de áreas degradadas têm sido empregados de forma não uniforme, com definições que variam ao longo do tempo, influenciadas por interpretações legais e contextos regionais. No Brasil, o termo “**recuperação**” é o mais recorrente, adotado com a compreensão de que o solo pode ser destinado a usos alternativos, desde que sustentáveis e em conformidade com a legislação ambiental vigente.

De acordo com Griffith *et al.* (2000), a recuperação de áreas degradadas (RAD), também denominada recuperação ambiental (RA), consiste em um conjunto de ações planejadas e executadas por profissionais de diversas áreas do conhecimento, com o objetivo de restabelecer a autossustentabilidade e o equilíbrio paisagístico de sistemas naturais que perderam tais características. Essas ações abrangem os impactos decorrentes de atividades antrópicas, como

agropecuária, mineração, urbanização e industrialização, bem como aqueles oriundos de processos naturais, como enchentes, incêndios, secas e terremotos.

A recuperação ambiental, portanto, não constitui uma prática facultativa, mas uma obrigação regulamentada por legislações ambientais que visam à proteção da biodiversidade, especialmente em países como o Brasil, reconhecida por sua riqueza em fauna e flora. Nesse sentido, destaca-se a recente Instrução Normativa IBAMA nº 14, de 1º de julho de 2024, elaborada com o objetivo de intensificar e padronizar os procedimentos relacionados à elaboração, apresentação, execução e monitoramento do Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Alterada (PRAD). Essa normativa aplica-se a todos os biomas e fitofisionomias brasileiras, reforçando a obrigatoriedade da recuperação ambiental como instrumento legal e técnico.

Nesse contexto, a ciência da Agroecologia tem se consolidado como uma ferramenta essencial na recuperação de áreas degradadas: sejam elas resultantes de ações humanas ou de desastres naturais. Integrando saberes tradicionais e acadêmicos provenientes de campos como Ecologia, Agronomia, Biologia, Física, História e Antropologia, a Agroecologia oferece um conjunto de práticas voltadas à recuperação do solo, à proteção dos recursos hídricos, à recuperação da biodiversidade e à valorização dos aspectos socioambientais. Conforme afirmam Caporal e Azevedo (2010), “a Agroecologia é uma ciência que se fundamenta no respeito profundo à natureza e aos sujeitos envolvidos no processo produtivo, valorizando as relações pessoais e coletivas na busca da sustentabilidade. A natureza não é simplesmente objeto de exploração, mas componente vivo que deve ser preservado e enriquecido ininterruptamente” (Figura 3).

Dessa maneira, enquanto a recuperação ambiental busca mitigar os impactos e restabelecer o equilíbrio ecológico dos sistemas, práticas como o manejo agroecológico representam a antítese da degradação, promovendo a preservação ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais. Assim, a integração entre saberes técnicos e conhecimentos tradicionais revela-se fundamental para enfrentar os desafios da recuperação ambiental, viabilizando a convivência harmônica entre o desenvolvimento humano e a conservação ecológica.



Figura 3. Recuperação de áreas degradadas com práticas agroecológicas, Feliz Lembrança, Alegre, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

Áreas degradadas não apenas sofrem alterações no funcionamento natural de seus ecossistemas, mas também impactam diretamente as dinâmicas sociais das comunidades que dependem desses ambientes para sua subsistência e bem-estar. Alterações como erosão, perda da fertilidade do solo e contaminação dos recursos hídricos comprometem a qualidade de vida, a segurança alimentar e as oportunidades econômicas das populações locais, independentemente de tais danos serem decorrentes de ações antrópicas ou de fenômenos naturais.

Caporal e Azevedo (2010) ressaltam que a Agroecologia transcende o manejo sustentável dos recursos naturais, consolidando-se como um campo científico que, a partir de uma abordagem sistêmica e holística, visa redirecionar os rumos da coevolução entre sociedade e natureza. Tal perspectiva evidencia as múltiplas inter-relações entre os componentes ecológicos e sociais, indicando a necessidade de estratégias integradas e participativas para o enfrentamento dos processos de degradação ambiental.

Nesse sentido, a recuperação de solos degradados é fundamental para restabelecer tanto a funcionalidade quanto a produtividade de áreas afetadas. Trata-se de um processo que engloba intervenções voltadas à restauração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, de modo a garantir sua capacidade de sustentação da vegetação e dos ecossistemas associados (Brito

et al., 2021). Técnicas como o controle da erosão, o uso de adubação verde, a rotação de culturas, o cultivo de plantas de cobertura e a reintrodução de espécies vegetais preferencialmente nativas têm se mostrado eficazes. Ademais, práticas agroecológicas como os Sistemas Agroflorestais (SAFs) integram objetivos de recuperação ambiental com benefícios sociais e econômicos para as comunidades locais (Almeida *et al.*, 2022) (Figura 4).



Figura 4. Manejo de café em SAF, São José do Alto Viçosa, Venda Nova do Imigrante, ES. Fonte: Acervo Graciandre Pereira Pinto, 2024.

A Universidade de São Paulo (USP) aponta que o desmatamento contínuo e o uso inadequado dos solos ao longo da história têm intensificado processos erosivos, contribuindo para a perda da fertilidade dos solos agrícolas, e agravado a poluição e o assoreamento de cursos d'água. Tais impactos não apenas comprometem a funcionalidade ecológica, como também impõem desafios substanciais à recuperação, especialmente em curto prazo (Attanasio; Rodrigues; Gandolfi, 2006).

Áreas profundamente degradadas, como aquelas cujos processos erosivos atingiram horizontes subsuperficiais do solo ou onde há elevada contaminação química, exigem intervenções técnicas complexas e prolongadas. A recuperação eficaz dessas áreas demanda a articulação de saberes multidisciplinares e a mobilização social, com enfoque simultâneo na restauração dos atributos do solo e no fortalecimento das comunidades envolvidas. Essa abordagem integrada

contribui para a construção de uma convivência sustentável entre ser humano e natureza (Costa; Nascimento; Santos, 2023) (Figura 5).



Figura 5. Área degradada pelo pastoreio extensivo e por queimadas na BR 263, Ibatiba, ES. Fonte: Acervo Graciandre Pereira Pinto, 2024.

As técnicas de manejo sustentável, como a adubação verde, a rotação de culturas e o uso de compostos orgânicos, desempenham papel central na reintrodução de nutrientes essenciais e na melhoria da estrutura do solo. Durante o ciclo de crescimento das plantas, parte da biomassa retorna ao solo sob a forma de folhas, galhos e estruturas reprodutivas, formando a serapilheira. Esse material, ao se decompor, contribui para a ciclagem de nutrientes — processo essencial para a reabilitação de áreas degradadas (Nogueira *et al.*, 2012). Tais práticas não apenas enriquecem o solo, mas também favorecem o equilíbrio ecológico e a produtividade agrícola, elementos fundamentais para a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

A gestão eficiente do solo também inclui medidas de controle da erosão, como o uso de cobertura vegetal e a implantação de barreiras físicas. Essas intervenções são eficazes na prevenção da perda de solo fértil, melhorando a infiltração e retenção de água, além de proteger a integridade estrutural do terreno. A recuperação do solo, no entanto, vai além de questões ambientais, influenciando diretamente os aspectos socioeconômicos das comunidades. Solos saudáveis são essenciais para a agricultura sustentável, pois garante

segurança alimentar, preservação da biodiversidade e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. A revitalização de áreas degradadas, nesse sentido, impulsiona a resiliência dos ecossistemas e das populações humanas que deles dependem (EMBRAPA, 2021) (Figura 6).



Figura 6. Recuperação ambiental com a implantação de barreiras físicas: cochinhos e barraginhas, Atilio Vivácqua, ES. Fonte: Acervo Márcio Menegussi Menon, 2024.

Historicamente, práticas agrícolas intensivas e mal planejadas provocaram impactos severos sobre o solo e os ecossistemas, muitas vezes levando à degradação ambiental em larga escala. Como resposta, abordagens integradas como o sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) têm se destacado como alternativas sustentáveis e inovadoras. Esse modelo de produção visa harmonizar a produtividade agrícola com a conservação ambiental, reduzindo a pressão sobre os recursos naturais e otimizando o uso de insumos (Dias-Filho, 2014; Muniz; Felix, 2024).

Historicamente, práticas agrícolas intensivas e mal planejadas provocaram impactos severos sobre o solo e os ecossistemas, muitas vezes levando à degradação ambiental em larga escala. A expansão de monoculturas, o uso excessivo de insumos químicos, o desmatamento para a abertura de novas áreas produtivas e a compactação do solo pelo manejo inadequado são exemplos de práticas que, ao longo do tempo, comprometeram a fertilidade

natural dos solos, reduziram a biodiversidade e alteraram o equilíbrio dos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos.

Diante desse cenário, surgem abordagens integradas que buscam restaurar o equilíbrio entre produção e conservação, destacando-se entre elas o sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF). Essa estratégia, baseada na diversificação e na sinergia entre diferentes componentes produtivos, representa uma alternativa sustentável e inovadora frente aos desafios da agricultura convencional. O sistema ILPF promove uma ocupação mais racional e eficiente da terra, proporcionando múltiplos benefícios como o aumento da resiliência agroecológica, a melhoria da estrutura e da fertilidade do solo, o controle da erosão e a redução das emissões de gases de efeito estufa por meio do sequestro de carbono em solos e árvores (Figura 7).



Figura 7. ILPF em Mimoso do Sul, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

Além disso, a integração entre lavoura, pecuária e floresta favorece o uso mais eficiente de recursos naturais, como água e nutrientes, e reduz a dependência de insumos externos, especialmente fertilizantes e defensivos químicos. Outro ponto relevante é a possibilidade de diversificação de renda para os produtores, o que contribui para a estabilidade econômica das propriedades rurais, especialmente aquelas de base familiar. De acordo com Muniz e Felix (2024) e Dias-Filho (2014), o sucesso do ILPF reside na adoção de um

planejamento técnico adequado, que leve em consideração as condições edafoclimáticas locais, a vocação produtiva das áreas e a capacitação contínua dos agricultores.

Portanto, o ILPF não apenas responde aos problemas causados por práticas agrícolas degradantes do passado, mas também representa um caminho promissor para a construção de sistemas produtivos mais resilientes, eficientes e sustentáveis. Sua adoção crescente no Brasil reflete uma mudança de paradigma que alia produtividade com conservação ambiental, atendendo aos objetivos do desenvolvimento sustentável e à demanda crescente por alimentos produzidos de forma responsável.

4. Cenário atual: demandas e procedimentos necessários

Desde a Revolução Industrial e Agrícola, o ritmo da degradação ambiental frequentemente supera os esforços de conservação. Isso torna imperativa a recuperação de ecossistemas degradados ou destruídos pelas atividades humanas, sejam elas diretas ou indiretas (Kohlrausch; Jung, 2015). A recuperação de áreas degradadas exige mais do que a simples revegetação: é necessário restaurar integralmente as funções ecológicas e os serviços ambientais — como regulação hídrica, controle climático, sequestro de carbono e suporte à biodiversidade.

Ampliar a discussão sobre esse tema implica considerar os benefícios sociais e econômicos proporcionados pela recuperação ambiental. Solos regenerados sustentam sistemas agrícolas mais resilientes, oferecendo maior estabilidade econômica às comunidades rurais. Ademais, práticas que envolvem as populações locais, como a implantação de sistemas agroflorestais, promove inclusão social e fortalecem o vínculo entre as pessoas e o meio ambiente (Gonçalves *et al.*, 2023).

Assim, a recuperação do solo e dos ecossistemas deve ser compreendida não apenas como uma questão ambiental, mas como um imperativo ético e econômico no contexto do desenvolvimento sustentável. Adotar e expandir práticas de manejo sustentável, aliadas à educação ambiental e à participação

comunitária, é essencial para garantir um futuro mais justo e equilibrado, no qual agricultura, meio ambiente e sociedade convivam de maneira harmônica.

A recuperação ambiental pode ser definida como o conjunto de ações destinadas a restaurar áreas alteradas ou perturbadas, promovendo condições edáficas e pedopaisagens capazes de sustentar o uso do solo de forma semelhante às condições originais, com mínima intervenção. Tal abordagem visa restabelecer não apenas a vegetação, mas a funcionalidade completa dos ecossistemas. Envolve a reintrodução de espécies nativas, a reconstrução de habitats e a criação de condições favoráveis à autossustentabilidade ecológica e socioeconômica. Além disso, pressupõe uma convivência harmoniosa entre as comunidades locais e a nova paisagem restaurada, promovendo equidade social e integração entre aspectos ecológicos e humanos (Souza, 2018).

Segundo Suding *et al.* (2015), a recuperação ambiental deve ser entendida como um esforço direcionado à restauração da integridade ecológica, o que inclui a diversidade de espécies, a estrutura dos habitats e os processos ecológicos fundamentais. Para isso, é indispensável o uso de práticas de manejo sustentável, como o plantio de espécies nativas, o controle biológico de pragas e a reconstrução de habitats naturais. A resiliência dos ecossistemas, isto é, sua capacidade de se adaptar a futuras perturbações, depende diretamente dessas ações. Nesse contexto, a educação ambiental e o engajamento comunitário são estratégicos. A conscientização das populações locais quanto à importância da conservação fomenta a corresponsabilidade e fortalece os vínculos socioambientais, indispensáveis ao sucesso dos projetos de recuperação.

Outro aspecto crítico da recuperação ambiental é a interdependência entre os ecossistemas e as comunidades humanas. A degradação ambiental impacta profundamente a qualidade de vida das populações, sobretudo aquelas que dependem diretamente dos recursos naturais para sua subsistência. Conforme Benayas *et al.* (2009), a recuperação de ecossistemas oferece inúmeros benefícios diretos às comunidades, como a melhoria da qualidade da água, a mitigação de desastres naturais e o incremento da biodiversidade. Esse aumento na diversidade biológica pode estimular atividades econômicas sustentáveis, como o ecoturismo, a apicultura e os sistemas agroflorestais (Figura 8).

Além dos benefícios ecológicos e econômicos, a recuperação ambiental exerce um papel transformador nas relações sociais. Projetos que envolvem as comunidades locais na recuperação de áreas degradadas promovem inclusão social, geração de renda e o fortalecimento de práticas culturais associadas ao uso sustentável dos recursos naturais. Esses elementos são essenciais para garantir o desenvolvimento sustentável em regiões vulneráveis.



Figura 8. Ecossistema recuperado e com elevada biodiversidade, Sítio Jaqueira, Alegre, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

Assim, a recuperação ambiental deve ser abordada de maneira holística, contemplando os aspectos ecológicos, sociais e econômicos. Essa abordagem integrada assegura que o processo de restauração não somente recupere as funções ecossistêmicas, mas também fomente uma convivência equilibrada entre as pessoas e a natureza. O êxito dessas iniciativas depende de estratégias que valorizem a biodiversidade, a educação ambiental e o engajamento comunitário, convertendo áreas degradadas em paisagens funcionais, produtivas e socialmente justas (Suding *et al.*, 2015; Aronson *et al.*, 2017).

A recuperação do equilíbrio ambiental é um compromisso constitucional estabelecido no parágrafo 3º do Artigo 225 da Constituição Federal de 1988, que determina que condutas e atividades prejudiciais ao meio ambiente sujeitam os infratores a sanções penais e administrativas, além da obrigação de reparar os

danos causados. Essa exigência é reforçada pela Lei nº 6.938/81, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, destacando que a reparação dos danos ambientais constitui dever constitucional, independente das penalidades aplicadas (BRASIL, 2024). Tal normatização legal reafirma a responsabilidade dos agentes e evidencia o compromisso do Estado brasileiro na proteção e recuperação dos ecossistemas para as gerações presentes e futuras.

Segundo Ortis *et al.* (2012), a recuperação de áreas degradadas deve considerar os princípios da sucessão ecológica secundária, que descreve a evolução natural das comunidades ecológicas influenciada pela interação entre a vegetação e o ambiente físico. Esse processo resulta em mudanças na composição das espécies, na estrutura comunitária e nas condições ambientais, culminando na formação de novos ecossistemas. É importante destacar que, embora o ambiente físico determine o ritmo e os padrões da sucessão, a comunidade ecológica desempenha papel ativo na modulação das interações e do equilíbrio que emergem ao longo do tempo (Figura 9).



Figura 9. Polo de Educação Ambiental (PEAMA) do Ifes campus de Alegre. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2025.

Dessa forma, a recuperação ambiental configura-se como ferramenta essencial para mitigar os impactos da degradação e restabelecer as funções naturais dos ecossistemas. Conforme Silva *et al.* (2022), a restauração ecológica

deve priorizar a resiliência dos ecossistemas, adotando práticas que facilitem a recuperação das funções ecológicas e a reintegração da biodiversidade. Tal abordagem contribui para a preservação da diversidade biológica e para a recuperação de serviços ecossistêmicos fundamentais, como a regulação climática, a purificação da água e a manutenção da fertilidade do solo — elementos indispensáveis à sustentabilidade das atividades humanas (Temperton *et al.*, 2021).

Adicionalmente, as estratégias de recuperação ambiental devem ser adaptadas às condições específicas de cada área. Martins *et al.* (2021) ressaltam que o sucesso da recuperação depende da análise detalhada das características físicas e químicas do solo, do histórico de uso da terra e das condições ambientais locais. A implantação do plantio de espécies nativas, o controle da erosão e a restauração dos atributos do solo são medidas imprescindíveis para reabilitar áreas degradadas de forma sustentável, possibilitando que o solo recupere sua capacidade de sustentar novas formas de vida e fortaleça a resiliência dos ecossistemas.

Outro aspecto fundamental é o papel das comunidades locais no processo de recuperação ambiental. O engajamento da população não apenas potencializa a eficácia das ações, como também promove a educação ambiental e o compromisso coletivo com a conservação. Almeida *et al.* (2023) destacam que projetos que incorporam as comunidades nos programas de restauração obtêm resultados mais efetivos e duradouros, uma vez que ampliam a conscientização sobre a importância do meio ambiente e fortalecem o vínculo entre os indivíduos e a natureza. Assim, a inclusão social e o engajamento comunitário constituem pilares essenciais para garantir que as áreas restauradas permaneçam sustentáveis, proporcionando benefícios ecológicos e socioeconômicos.

Portanto, a recuperação ambiental, além de ser uma exigência legal, configura-se como uma estratégia multidimensional que articula aspectos ecológicos, sociais e econômicos. Por meio de uma abordagem integrada e participativa, é possível não só reabilitar os ecossistemas, mas também promover a equidade social e o desenvolvimento sustentável, assegurando uma convivência harmoniosa entre sociedade e meio ambiente.

5. Notas

✓ No sentido de “relativo à ação do homem sobre o ambiente” (Dicionário da Porto Editora), recomenda-se o uso do termo **antrópico** (como em “processos antrópicos”; cf. Dicionário Priberam). Embora o termo **antropogênico** seja frequentemente empregado com o mesmo significado, sua etimologia está vinculada à **antropogênese**, definida como o “estudo da origem e do desenvolvimento da espécie humana, especialmente como objeto de investigação científica” (Dicionário Houaiss). Por essa razão, é mais adequado restringir o uso de **antropogênico** a contextos relacionados ao estudo da origem e evolução da espécie humana.

✓ O conceito de degradação ambiental refere-se aos impactos negativos no meio ambiente, principalmente decorrentes de atividades humanas. Esse termo é raramente aplicado a alterações provocadas por processos naturais, e sua definição pode variar conforme a atividade causadora e o campo de estudo em que é analisado. Uma área é considerada degradada quando apresenta evidências claras de intervenções como mineração e pecuária, tais como erosão, redução ou ausência de cobertura vegetal, acúmulo de resíduos e superfícies desprotegidas (Salomão *et al.*, 2020a; Salomão *et al.*, 2020b).

6. Considerações

Este artigo destacou a importância da recuperação ambiental e os processos envolvidos na reabilitação de áreas degradadas, enfatizando a necessidade de integrar práticas sustentáveis que promovam tanto a regeneração ecológica quanto a melhoria das condições socioeconômicas das comunidades locais. A recuperação de ecossistemas vai muito além da simples reintrodução da vegetação nativa, englobando o restabelecimento das funções ecológicas essenciais, a recuperação dos serviços ecossistêmicos e o fortalecimento da resiliência ambiental frente a futuras perturbações e mudanças climáticas.

A partir da análise das práticas de manejo sustentável e das estratégias de recuperação, como o uso de espécies nativas adaptadas ao local, o controle da erosão e a restauração da qualidade do solo, evidenciou-se que a adaptação

das técnicas às condições ambientais específicas de cada área é um fator determinante para o êxito dessas iniciativas. Além disso, a participação ativa das comunidades locais, combinada com a promoção da educação ambiental e a conscientização, revela-se fundamental para garantir a eficácia e a sustentabilidade dos processos de recuperação a médio e longo prazo.

É imprescindível que a recuperação ambiental seja encarada de forma holística, considerando não apenas os aspectos ecológicos, mas também as dimensões sociais e econômicas. Somente assim será possível criar sistemas sustentáveis que promovam o desenvolvimento equitativo e o bem-estar das populações afetadas. A reabilitação de áreas degradadas pode contribuir de maneira decisiva para a melhoria da qualidade de vida, o fortalecimento da biodiversidade e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, gerando um ciclo virtuoso de benefícios mútuos entre o meio ambiente e as comunidades humanas.

Ademais, a recuperação ambiental deve ser entendida como um processo dinâmico e contínuo, que exige o engajamento consciente e articulado de todos os setores da sociedade: população local, poder público, organizações não governamentais, setor privado e instituições acadêmicas. A construção desse compromisso coletivo é essencial para avançar na restauração dos ecossistemas degradados, mitigar os impactos das mudanças ambientais e garantir a harmonização das atividades humanas com os sistemas naturais.

Por fim, torna-se urgente investir em políticas públicas integradas, programas de incentivo e estratégias participativas que fomentem a conservação e a recuperação ambiental, assegurando a sustentabilidade das futuras gerações. Tais políticas devem articular os diferentes níveis de governo, promover o diálogo intersetorial e integrar as dimensões ambiental, social e econômica do desenvolvimento. Instrumentos como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), linhas de crédito específicas para práticas sustentáveis, apoio técnico à adoção de sistemas agroecológicos e projetos de restauração ecológica podem impulsionar ações concretas no campo e nas cidades. A participação ativa das comunidades locais, povos tradicionais e agricultores familiares são essenciais nesse processo, garantindo que as ações reflitam as

realidades e necessidades dos territórios, fortalecendo o protagonismo social e promovendo justiça socioambiental.

A recuperação ambiental é, portanto, um caminho estratégico para o equilíbrio entre desenvolvimento socioeconômico e preservação ambiental, promovendo uma convivência harmoniosa e duradoura entre a sociedade e a natureza. Ao restaurar áreas degradadas, recuperar nascentes, reflorestar matas ciliares e estimular práticas regenerativas, abre-se a oportunidade de reconstruir ecossistemas funcionais, promover a segurança hídrica e alimentar, mitigar os efeitos das mudanças climáticas e garantir qualidade de vida às gerações presentes e futuras.

7. Referências

ALMEIDA, F. S. *et al.* Participação comunitária e restauração ecológica: experiências e desafios para a sustentabilidade. **Revista Brasileira de Ecologia Aplicada**, v. 18, n. 2, p. 112-130, 2023.

ALMEIDA, R. A.; FARIAS, D. S.; MOURA, E. G. Agroflorestas como instrumentos de recuperação ambiental e inclusão social. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 2, p. 105-117, 2022. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/26004>. Acesso em: 25 maio 2025.

ALMEIDA, T. P.; COSTA, L. R.; NOGUEIRA, A. P. Engajamento da comunidade na restauração ecológica: melhorando a sustentabilidade e os resultados da conservação. **Journal of Environmental Education**, v. 54, n. 2, p. 123-137, 2023.

ARONSON, J. *et al.* **Restoration Ecology: The New Frontier**. 2. ed. Wiley-Blackwell, 2017. 448 p.

ARONSON, J. *et al.* Thirty years of ecological restoration research: advances and perspectives. **Ecological Restoration**, v. 38, n. 1, p. 4-14, 2020.

ATTANASIO, C. M.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Restabelecimento de funções ecológicas em áreas degradadas com diferentes históricos de uso. **Revista USP**, n. 70, p. 118-133, 2006. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i70p118-133>.

ATTANASIO, C. M.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Departamento de Ciências Biológicas. Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal. **Adequação ambiental de propriedades rurais - recuperação de áreas degradadas - restauração de matas ciliares**, p. 1. 2006.

BENAYAS, J. M. R. *et al.* Restoration of biodiversity and ecosystem services on agricultural land. **Ecosystems**, v. 12, n. 2, p. 153-170, 2009.

BENAYAS, J. M. R.; MARTÍNEZ-TEJEDA, E.; GARCÍA-Llorente, M.; GARCÍA, L. A.; MONTES, C. Ecosystem restoration and the role of local communities. **Ecological Restoration**, v. 27, n. 1, p. 1-10, 2009.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 out. 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 25 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 25 maio 2025.

BRITO, M. R. M. *et al.* Estratégias para a recuperação de solos degradados com enfoque agroecológico. **Ciência Rural**, v. 51, n. 11, e20210056, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210056>.

CAPORAL, F. R.; AZEVEDO, E. Agroecologia: entre o discurso e a prática. In: GRISA, C.; SCHNEIDER, S. (Orgs.). **Políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2010. p. 173-200.

CAPORAL, F. R.; AZEVEDO, E. O. de. **Princípios e Perspectivas da Agroecologia**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <https://www.bibliotecaagpatea.org.br/agricultura/agroecologia/livros/CAPORAL-Francisco-Roberto-AZEVEDO-Edisio-Oliveira-de-Principios-e-Perspectivas-da-Agroecologia.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2024.

CHAZDON, R. L. **Second growth**: The promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation. Chicago: University of Chicago Press, 2014.

COSTA, T. C.; NASCIMENTO, R. G.; SANTOS, A. M. Desafios e perspectivas na recuperação de áreas degradadas no semiárido brasileiro. **Cadernos de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 1-15, 2023. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/26984>. Acesso em: 25 maio 2025.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico da degradação de pastagens**. 3. ed. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico de degradação de pastagens: fundamentos e métodos de avaliação**. 4. ed. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos, 402). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/996428>. Acesso em: 4 jun. 2025.

EMBRAPA. **Boas práticas para recuperação de áreas degradadas**: caminhos para a produção sustentável. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/236807/1/Doc-137.pdf>. Acesso em: 25 maio 2025.

FERNANDES, E. A.; CUNHA, N. R. da S.; SILVA, R. G. da. Degradação ambiental no estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 1, p. 179-198, 2005.

FERREIRA, M. C. S. *et al.* Indicadores ambientais como ferramenta para o planejamento de paisagens sustentáveis. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 46, n. 1, e460101, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-90882022000100001>.

FORTINI, R. M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 2, p. e199479, 2020.

GONÇALVES, G. M. *et al.* Recuperação ambiental e inclusão social: contribuições dos sistemas agroflorestais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 3, 2023. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/24507>. Acesso em: 25 maio 2025.

KOHLRAUSCH, A. B.; JUNG, C. A. M. Práticas de recuperação de áreas degradadas: perspectivas e desafios. **Revista Científica GEEA**, v. 8, n. 2, p. 37-52, 2015.

KOHLRAUSCH, F.; JUNG, C. F. Áreas ambientais degradadas: causas e recuperação. In: **Anais...** Congresso nacional de excelência em gestão. 2015.

LEMOS, J. J. S. **Desertification of Drylands in Northeast of Brazil, Riverside, Califórnia**. Economic Department da University of California, 1995.

LEMOS, J. J. S. **Desertification of Drylands in Northeast of Brazil**, Riverside, Califórnia: Economic Department da University of California, 1995.

MARTINS, F. S.; DIAS, L. F.; PEREIRA, M. E. Técnicas de restauração do solo: adaptação às condições locais e sustentabilidade a longo prazo. **Journal of Environmental Management**, n. 287, p. 112299, 2021.

MARTINS, L. R. *et al.* Estratégias para recuperação de áreas degradadas: análise do solo e seleção de espécies. **Revista Ciência & Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 55-69, 2021.

MOURA, D. L. *et al.* Agricultura e degradação ambiental no Brasil: uma revisão crítica. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 15, n. 2, p. 45-61, 2021.

MUNIZ, G. M.; DE LIMA FELIX, T. Integração lavoura-pecuária-floresta como alternativa sustentável de uso do solo. **Revista Interdisciplinar em Agroecologia e Meio Ambiente**, v. 3, n. 1, p. 75-88, 2024.

MUNIZ, R. A.; FELIX, G. S. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: uma alternativa sustentável para a agricultura brasileira. **Revista Brasileira de Agricultura Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 22–35, 2024b.

MUNIZ, S. P.; LIMA FELIX, J. de; SILVA, J. A. S. Recuperação de área degradada das margens do rio Carius utilizando espécies *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth nativa da caatinga – planta sabiá, no município de Nova Olinda, CE. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 5, n. 3, p. 57-68, 2024.

NOGUEIRA, N. O.; OLIVEIRA, O. M.; MARTINS, C. A. da S.; BERNARDES, C. de O. **Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas**. Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), Alegre-ES, Brasil. Recebido em: 04/05/2012 – Aprovado em: 15/06/2012 – Publicado em: 30/06/2012.

NOGUEIRA, S. F. *et al.* Serapilheira e ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 625-635, 2012.

ORTIS, A. *et al.* Sucessão ecológica e restauração de ecossistemas degradados. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 237-250, 2012.

ORTIS, R. da S.; LIRA, L. P. B.; PITA, M. C. G.; ESTENDER, A. C.; JULIANO, M. de C. **Gestão ambiental e a recuperação de áreas degradadas**. Simpósio de excelência em gestão e tecnologia - SEGET. 2012.

RODRIGUES, R. R. *et al.* Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1605–1613, 2011.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2000. 685 p. v. II.

SALOMÃO, M. S. M.; SANTOS, R. F.; SILVA, V. R. Conceitos de Degradação Ambiental: Uma Revisão Teórica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1347-1362, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1347-1362>

SALOMÃO, P. E. A; BARBOSA, L. C.; CORDEIRO, I. J.M. Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e57922057, 2020b. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.2057>

SILVA, M. P. *et al.* Resiliência e restauração ecológica: bases para práticas de recuperação ambiental. **Revista Brasileira de Ecologia**, v. 30, n. 1, p. 78-92, 2022.

SOUZA, M. N. **Degradação antrópica e procedimentos de recuperação ambiental**. Novas Edições Acadêmicas/SIA *OmniScriptum Publishing*: Brivibas gatve 197, LV-1039, Riga, Letônia, União Europeia, 2018. 364p.

SOUZA, M. N. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 371p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SUDING, K. N.; GARDEN, D. L.; HARRIS, J. A.; HOBBS, R. J.; HULME, P. E.; MACE, G. M.; MCDONALD, T.; REYER, C. P.; THOMPSON, I. A. Committing to ecological restoration. **Science**, v. 348, n. 6235, p. 638-640, 2015.

TEMPERTON, V. M. *et al.* **The routledge handbook of ecological and environmental restoration**. Routledge, 2021. 576 p.

Transição sustentável: caminhos para a construção de sistemas produtivos resilientes

Maurício Novaes Souza, Marcus Vinicius Dutra de Magalhães, Lessa Braz Lopes, Atanásio Alves do Amaral, Flávia Muniz, Thiara Azevedo Pancotto

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c2>

Resumo

Este capítulo aborda os caminhos necessários para a efetivação do Desenvolvimento Sustentável no Brasil rural, analisando políticas públicas formuladas com esse propósito e propondo diretrizes para sua implantação concreta. Considerando que os limites ecológicos do planeta já foram ultrapassados, torna-se urgente a adoção de novos modelos produtivos que conciliem crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. Contudo, nas últimas décadas, o termo “Desenvolvimento Sustentável” tem sido utilizado de maneira indiscriminado, muitas vezes esvaziado de conteúdo prático e conceitual. A crescente banalização do conceito tem gerado preocupações entre estudiosos e ambientalistas, que destacam a necessidade de um resgate crítico de suas bases teóricas e políticas. Embora a expressão tenha sido empregada publicamente desde 1979, foi com o Relatório Brundtland, de 1987, que o termo ganhou relevância política, sendo apresentado na Assembleia Geral da ONU como um conceito estratégico para a articulação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, especialmente no contexto preparatório da Rio-92. No contexto atual, marcado pelas emergências climáticas, pela perda da biodiversidade e pelas desigualdades sociais acentuadas, torna-se evidente que a superação dos obstáculos econômicos, financeiros e institucionais dependerá de uma articulação ampla entre os diversos setores da sociedade. A construção de um modelo sustentável também requer o fortalecimento das economias locais, a valorização da agroecologia, a promoção de cadeias produtivas de baixo impacto ambiental e a democratização do acesso à terra, à água e à energia. A sustentabilidade depende, em grande medida, da capacidade de reinventar nossas formas de viver, produzir, consumir e nos relacionar com a natureza.

Palavras-chave: Crítica Ambiental. Produção Sustentável. Políticas públicas. Ecodesenvolvimento. Brasil Rural. Agroecologia.

1. Introdução

De acordo com o relatório da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2002), o consumo de alimentos deverá continuar a crescer nos países em desenvolvimento pelas próximas décadas. Nesse contexto, torna-se essencial o suporte contínuo a políticas públicas e pesquisas agropecuárias que fortaleçam a capacidade produtiva desses países. Projeta-se que, até 2030, cerca de três quartos da produção mundial de alimentos ocorram nos países em desenvolvimento, comparativamente à metade registrada nos anos da década de 1960. A maior parte desse crescimento virá da intensificação da produção, com o aumento da produtividade agrícola e do uso mais intensivo da terra.

No entanto, essa busca por maior produção, impulsionada por uma lógica economicista, tem gerado efeitos colaterais expressivos. O impacto social e ecológico da globalização passou a ser amplamente discutido por acadêmicos e lideranças sociais, cujas análises demonstram que a nova economia vem gerando uma série de consequências interdependentes e prejudiciais: aumento das desigualdades sociais, exclusão de comunidades vulneráveis, crise da governança democrática, degradação ambiental acelerada e avanço da pobreza e da alienação (Altieri; Nicholls, 2020; Leff, 2021).

Capra (2003) já alertava que o capitalismo global, sustentado por uma biotecnologia reducionista e por paradigmas mecanicistas, ameaça comunidades locais e tenta transformar a diversidade em monocultura, a ecologia em engenharia e a vida em mercadoria. Essa crítica fundamenta o surgimento de um novo ideal civilizatório, centrado em valores como justiça social, sustentabilidade e respeito à diversidade sociocultural e ecológica.

Dessa forma, as últimas décadas têm sido marcadas por um movimento global em defesa de novos modelos de desenvolvimento, mais éticos, inclusivos e integrados com os limites do planeta. Esses modelos se articulam à ideia de “justiça social”, revalorizando ideais fundamentais da modernidade — paz, democracia, liberdade e igualdade — como pilares para uma nova utopia contemporânea (Veiga, 2019).

Ao que tudo indica, as sociedades industriais e agroindustriais se encontram em um ponto de inflexão, iniciando uma transição rumo a um novo paradigma. No entanto, apesar do avanço dos debates, as concepções de

“desenvolvimento sustentável” ainda carecem de aprofundamento teórico e de coerência prática. Assim, este capítulo se propõe a discutir os fundamentos e as alternativas concretas para tornar o desenvolvimento sustentável uma realidade viável e harmônica entre ser humano e natureza.

2. Interações socioambientais e os desafios do desenvolvimento sustentável

A evolução natural das condições ambientais ao longo do tempo permitiu o surgimento e a adaptação das espécies, incluindo os seres humanos. Entretanto, alterações significativas no ambiente levaram à extinção de diversas espécies, evidenciando que mudanças nos ecossistemas podem impactar diretamente a qualidade de vida humana (Bellia, 1996).

Na perspectiva marxista, conforme discutido por Schmidt (1976), as relações entre sociedade e natureza são dialéticas: o ser humano transforma a natureza e, simultaneamente, é transformado por ela. Essa visão destaca a interdependência entre os sistemas sociais e naturais, sugerindo que o desenvolvimento sustentável deve considerar essa reciprocidade (Figura 1).



Figura 1. Pastagens degradadas recuperadas com a cultura do café solteiro e em Sistema Agroflorestal, Feliz Lembrança, Alegre, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

Buttel (1998) argumenta que fortalecer as relações interpessoais e comunitárias pode promover políticas de desenvolvimento mais humanas e

alinhadas às necessidades locais. Ele também critica a vaguidade do conceito de sustentabilidade, apontando que sua aplicação muitas vezes carece de clareza e coesão.

A insatisfação com os modelos tradicionais de desenvolvimento levou à formulação de propostas como a Agenda 21 Brasileira, que propõe a substituição de sistemas agropecuários simplificados por sistemas diversificados que integrem produção animal e vegetal. Esses sistemas exigem conhecimentos ecológicos específicos e uma abordagem interdisciplinar (Souza, 2004) (Figura 2).



Figura 2. Sistema agrossilvipastoril. Fonte: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/sistema-agrossilvipastoril-uma-opcao-de-rentabilidade-e-sustentabilidade-53772/>.

A implantação dessas propostas demanda políticas públicas eficazes e instituições comprometidas com a difusão de tecnologias apropriadas. A extensão rural e a pesquisa devem focar na intensificação sustentável do uso do solo e na geração de renda baseada na conservação dos recursos naturais (ENA, 2003).

Organismos internacionais, como o Banco Mundial e o BID, enfatizam que abordagens participativas resultam em melhores resultados do que estruturas hierárquicas tradicionais. Nesse contexto, o Estado deve coordenar uma

abordagem sistêmica que envolva órgãos públicos, ONGs, empresas privadas e a sociedade civil, promovendo uma visão compartilhada de desenvolvimento sustentável.

No âmbito empresarial, inclusive nas atividades rurais, otimizar a produção é fundamental para garantir a sustentabilidade econômica. O equilíbrio entre oferta e demanda orienta decisões sobre o que produzir, em que quantidade e de que maneira, visando à continuidade da atividade (Silva, 2000) (Figura 3).



Figura 3. Diversificação e especialização na produção na região do Caparaó: cafés especiais, agroturismo e conservação ambiental. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

Observa-se que muitas propriedades rurais não aproveitam plenamente seus recursos, como o potencial de transformação de produtos agropecuários e a gestão de resíduos. Para reverter esse cenário, são necessárias mudanças nos modelos de produção, incluindo (Souza, 2018; 2025):

- ✓ Recuperação ambiental baseada em princípios éticos;
- ✓ Desenvolvimento de tecnologias que conservem os recursos naturais;
- ✓ Rigor na concessão de licenças ambientais, condicionando-as à adoção de sistemas de gestão ambiental;
- ✓ Efetividade no monitoramento e fiscalização, com participação ativa da sociedade;

- ✓ Elaboração de políticas públicas determinadas e voltadas para a sustentabilidade.

Essas ações podem contribuir para uma distribuição mais equitativa dos benefícios do desenvolvimento, reduzindo a degradação ambiental, a pobreza extrema e as desigualdades socioeconômicas no Brasil

3. Abordagens conceituais do desenvolvimento sustentável

➤ Visão econômica / antropocêntrica

A perspectiva econômica, de base antropocêntrica, define o desenvolvimento como “as modificações da biosfera e a aplicação dos recursos humanos, financeiros, vivos e inanimados, que visam à satisfação das necessidades humanas e à melhoria da qualidade de vida do homem” (Macedo *et al.*, 2000). Nesse modelo, o ser humano ocupa posição central, e os elementos da natureza são compreendidos principalmente como insumos para a geração de riqueza e bem-estar social.

Essa abordagem, ainda predominante em diversas políticas públicas e estratégias de crescimento, enfatiza o progresso material e tecnológico como motores do desenvolvimento. Entretanto, autores como Sachs (2021) e Leff (2021) vêm criticando esse paradigma, destacando seus limites ecológicos e sociais, bem como os impactos negativos causados pela exploração desmedida dos recursos naturais.

A visão antropocêntrica sustenta dois mitos persistentes: o da inesgotabilidade dos recursos naturais e o da supremacia do ser humano sobre a natureza¹. Essa perspectiva, historicamente enraizada na cultura ocidental e reforçada pela modernidade, atribui ao ser humano um papel central e dominante em relação ao meio ambiente, tratando os elementos naturais como meros instrumentos a serviço do progresso econômico. O mito da inesgotabilidade sustenta a ideia de que os recursos naturais são infinitos ou suficientemente abundantes para sustentar qualquer modelo de crescimento — o que se revela

¹ Ministro José Carlos Carvalho, 2025, II Fórum do Caparaó, palestra.

insustentável diante do esgotamento de aquíferos, da perda de biodiversidade, da crise climática e da degradação dos solos (Souza, 2025).

Por sua vez, o mito da hegemonia humana sobre a natureza ignora a interdependência entre os sistemas ecológicos e os sistemas sociais. Ao negar o valor intrínseco dos demais seres vivos e ecossistemas, essa visão favorece uma relação de exploração e dominação, e não de cuidado e coexistência. Como destacam autores como Leff (2021) e Souza (2025), é urgente substituir o paradigma antropocêntrico por uma abordagem ecocêntrica ou biocêntrica, que reconheça a natureza como sujeito de direitos e compreenda o ser humano como parte integrante do todo ecológico.

Superar esses mitos exige uma mudança profunda nos fundamentos culturais, éticos e epistemológicos da sociedade contemporânea. Trata-se de abandonar a lógica da separação e do domínio, para adotar uma racionalidade ambiental baseada na cooperação, na diversidade e no respeito aos limites planetários.

➤ **Visão ecológica / ecocêntrica**

Em contraposição ao modelo antropocêntrico, a visão ecológica – ou ecocêntrica – considera o ser humano como parte integrante e interdependente da natureza.

Essa perspectiva ganhou força com a publicação do relatório “Nosso Futuro Comum”, de 1987, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pela ONU em 1983. O relatório, conhecido como Relatório Brundtland, introduziu uma concepção mais ampla de desenvolvimento sustentável, definindo-o como: “o conjunto de ações que geram processos de transformações na exploração dos recursos naturais, na direção dos investimentos e na orientação do desenvolvimento tecnológico com vistas a garantir a expectativa e o potencial de vida presente e das gerações futuras” (Brundtland, 1987).

Essa definição consolidou o entendimento de que a qualidade de vida das gerações atuais depende intrinsecamente da integridade ambiental. Desde então, autores como Capra e Luisi (2016) e Altieri e Nicholls (2020) têm

aprofundado a discussão sobre a necessidade de modelos de desenvolvimento baseados nos princípios da ecologia, na resiliência dos sistemas naturais e na justiça socioambiental.

A visão ecocêntrica propõe uma mudança paradigmática que transcende a noção de crescimento econômico ilimitado, sugerindo que o verdadeiro desenvolvimento está na harmonia entre sistemas sociais e ecológicos, com foco na regeneração dos ecossistemas, no fortalecimento das comunidades locais e na preservação da biodiversidade (Figura 4).

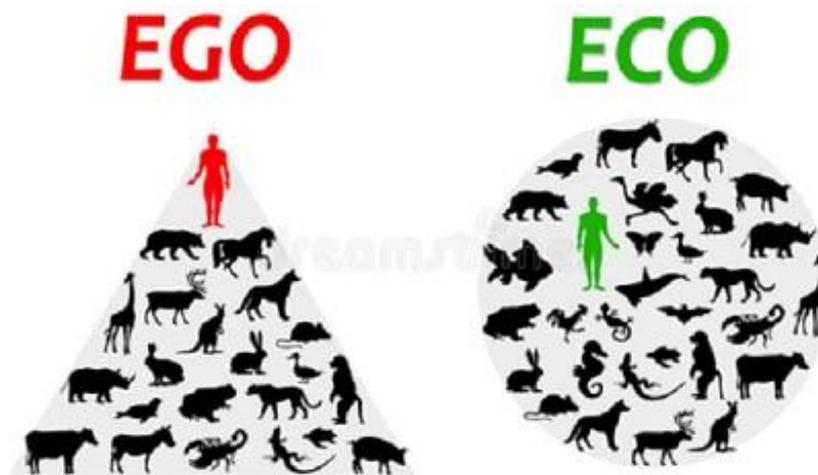


Figura 4. Visão egocêntrica e ecocêntrica. Fonte: <https://neomundo.org.br/2021/11/16/visao-ecocentrica-para-desenvolvimento-de-uma-cidade-inteligente/>.

4. Propostas emergentes e inovações no pensamento sustentável

A concepção de desenvolvimento sustentável é permeada por diferentes visões, destacando-se principalmente as abordagens econômica/antropocêntrica e ecológica/ecocêntrica. A primeira enfatiza a manutenção ou melhoria dos padrões de vida humana, enquanto a segunda prioriza a preservação das funções dos sistemas ecológicos.

Segundo Toman (1992), essa divergência dificulta a formulação de respostas adequadas para promover ações concretas rumo ao desenvolvimento sustentável. Ele identifica três razões principais para essa discordância: a equidade intergeracional, a substituíbilidade dos recursos naturais e a capacidade de suporte dos ecossistemas naturais.

Godard (1997) argumenta que a gestão dos recursos deve estar imbuída de uma visão estratégica de longo prazo, conferindo-lhe um sentido que transcende os usos cotidianos. Ele destaca que a noção de desenvolvimento sustentável ainda é incerta, pois se encontra no cruzamento de várias tradições intelectuais, servindo para expressar um desejo de conciliação entre desenvolvimento econômico e proteção ambiental.

A pensadora indiana Vandana Shiva (1991) critica a ideologia do desenvolvimento sustentável por estar constituída dentro dos limites da economia de mercado, oferecendo soluções de mercado à crise ecológica. Ela aponta três erros ontológicos nessa abordagem: a primazia ontológica do capital; a separação entre produção e conservação, tornando esta última dependente do capital; e a suposição de que a substituição da natureza pelo capital é sustentável.

Com a introdução da visão ecológica/ecocêntrica ao conceito de desenvolvimento, princípios éticos são incorporados, refletindo preocupações com as gerações futuras sem negligenciar as necessidades da atual. Reconhece-se a necessidade de priorizar os pobres, impor limites à tecnologia para evitar riscos aos sistemas naturais, recuperar áreas degradadas e estimular a reciclagem, entre outras ações. Essa perspectiva é especialmente relevante nos países em desenvolvimento, onde a consciência da necessidade de conservação dos recursos é menor devido à obrigatoriedade de seu uso para a sobrevivência (Figura 5).

O Centro Nacional para o Desenvolvimento Sustentado das Populações Tradicionais (CNPT) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) adaptou o conceito de desenvolvimento sustentável às populações que vivem nas Reservas Extrativistas (Resex), criadas em 1990. Para essas comunidades, desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam, reforçando o potencial presente e futuro do meio ambiente que suporta suas atividades econômicas, atendendo às suas necessidades e aspirações, respeitando a autodeterminação sobre a evolução de seus perfis culturais.



Figura 5. Qualificação de profissionais para projetos de recuperação no município de Resplendor: Instituto Terra. Fonte: Acervo Márcio Menegussi Menon, 2024.

O Governo do Estado do Amapá defende essa abordagem, promovendo a valorização e modernização do extrativismo, visando à proteção dos recursos florestais, assegurando a permanência das comunidades tradicionais em suas áreas e melhorando suas condições de vida. Nesse contexto, Diegues (1997) destaca que grandes áreas preservadas da Amazônia podem ser resultado de milênios de manejo sustentável empreendido por essas comunidades, aproveitando os ecossistemas amazônicos de forma sustentável.

Entretanto, Anderson (1992) argumenta que o modelo de produção altamente extensivo de uso da terra não garante as necessidades econômicas básicas para as populações atuais e futuras. Ele sugere que as populações das Resex deveriam associar às suas práticas extensivas algumas formas mais intensivas de uso da terra, desde que manejadas corretamente.

Adlard (1993) propõe diferentes abordagens para o desenvolvimento sustentável, incluindo:

- ✓ Produção Sustentável: refere-se ao uso do solo e à sustentabilidade da produção nele desenvolvida, considerando a capacidade de cada geração de

manter e repassar às futuras gerações um estoque de recursos naturais não menos produtivo ou utilizável do que aquele que herdou.

✓ **Sustentabilidade do Bem-Estar Humano e Vida Sustentável:** focam na manutenção e melhoria do bem-estar humano em um sentido mais amplo, indo além da conservação da base de recursos naturais, da qual o bem-estar é, em parte, dependente.

Nos dias atuais, diversas iniciativas têm buscado diversificar as atividades econômicas nas Resex, incorporando práticas como sistemas agroflorestais, agricultura de subsistência e criação de animais de pequeno porte. Essas práticas visam aumentar a renda das comunidades locais sem comprometer a conservação ambiental (Freitas *et al.*, 2011; IMAZON, 2018) (Figura 6).



Figura 6. Rio Tapajós e Florestas preservadas por comunidades ribeirinhas, Alter do Chão, Santarém, Pará. Fonte: Acervo: Maurício Novaes, 2020.

Por exemplo, na Reserva Extrativista do Alto Juruá, no Acre, foram introduzidas tecnologias como o "couro vegetal", derivado do látex, que agregam valor ao extrativismo tradicional. Essa inovação tecnológica permite que as comunidades locais obtenham maior retorno econômico sem a necessidade de expandir áreas de cultivo ou pastagem (IMAZON, 2018).

Além disso, estudos indicam que a diversificação produtiva, incluindo a agricultura de subsistência e a criação de animais de pequeno porte, tem sido adotada por comunidades em Resex próximas a centros urbanos, como Belém. Nessas áreas, a proximidade dos mercados facilita a comercialização de produtos como frutas, peixes, camarões e artesanatos, contribuindo para a melhoria da renda familiar (Homma, 2002; Monteiro, 2008; IMAZON, 2018).

Apesar dessas iniciativas, a implementação de práticas mais intensivas enfrenta desafios, como a necessidade de políticas públicas adequadas, acesso a mercados e capacitação técnica das comunidades locais. A falta de incentivos governamentais e de infraestrutura adequada pode limitar o sucesso dessas estratégias. Além disso, há relatos de que, em algumas Resex, a substituição do extrativismo por atividades como a pecuária extensiva tem levado ao desmatamento e à degradação ambiental, contrariando os objetivos de conservação dessas áreas (Monteiro, 2008; IMAZON, 2018).

Em resumo, a proposta de Anderson (1992) de complementar o extrativismo com práticas mais intensivas e sustentáveis de uso da terra está sendo implantada em diversas Resex da Amazônia. Embora haja exemplos de sucesso, a efetividade dessas iniciativas depende de fatores como apoio governamental, acesso a mercados e capacitação das comunidades locais.

Para Godard (1997), o futuro do meio ambiente deveria ser questionado, especialmente no que tangia às modalidades de gestão de seus recursos, seja no caso de superexploração, seja quando sua exploração acarreta a degradação ambiental. Ele enfatizava que o meio ambiente não deveria ser visto apenas como uma fonte de restrições e custos adicionais, mas como um potencial de recursos naturais a ser mobilizado visando ao desenvolvimento econômico e social.

Diegues (1997) e Souza (2025) ressaltam que as estratégias alternativas de desenvolvimento sustentável devem incluir como componentes essenciais: o respeito pela dinâmica dos sistemas naturais; o uso de tecnologias científicas capazes de incorporar a riqueza embutida nas formas tradicionais de conhecimento dos ecossistemas; e a preocupação com a equidade social e a viabilidade econômica das ações de desenvolvimento (Figura 7).



Figura 7. Pastagem degradada e sem práticas de conservação de água do solo e da água, Atílio Vivácqua, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

5. Complexidade e urgência das questões ambientais atuais

Apesar das polêmicas que frequentemente cercam o debate ambiental, observa-se um crescimento significativo da conscientização global em torno da sustentabilidade. Para Sallier (1990), *apud* Bellia (1996), é essencial buscar um equilíbrio — e não uma oposição — entre as dimensões econômica e ecológica. Nessa perspectiva, o conceito de desenvolvimento sustentável propõe uma gestão presente que considere os direitos e necessidades das futuras gerações, promovendo uma arbitragem entre o altruísmo desejável e o egoísmo possível (Figura 8).

Conforme o Relatório da Comissão Brundtland (1991), “não tem sentido opor meio ambiente e desenvolvimento, pois a qualidade do primeiro é o resultado da dinâmica do segundo”. Em linha semelhante, Pearce e Turner (1989) alertam que os benefícios imediatos, em geral, não são compatíveis com o bem-estar de longo prazo — e até mesmo com a própria sobrevivência da humanidade. Para esses mesmos autores, metas sociais, como o aumento do bem-estar, cujas políticas dependem de pré-condições ecológicas frágeis, devem ser revistas, a fim de evitar danos irreversíveis às futuras gerações. Acrescentam ainda que, no longo prazo, perdas ou ganhos incomensuráveis

podem ocorrer quando as decisões econômicas não se fundamentam em valores e políticas ambientais sólidas.



Figura 8. Pastagem degradada em processo de recuperação, Atilio Vivácqua, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

A preocupação é legítima, visto que os recursos naturais constituem ativos potencialmente dilapidáveis. Conforme El Serafy (1989), isso se aplica tanto aos recursos não renováveis (como os minerais), quanto aos renováveis (como solos, florestas e estoques pesqueiros), que requerem manejo cuidadoso para que possam garantir, no mínimo, receitas equivalentes no futuro. O Relatório da Comissão Brundtland (1991) corrobora essa visão ao afirmar que vivemos uma crise não apenas ecológica — caracterizada pelo esgotamento dos recursos naturais e perda da biodiversidade —, mas também ambiental — expressa na redução da capacidade de resiliência dos ecossistemas frente à intensa interferência humana.

Todavia, essa crise é também de natureza política, vinculada aos mecanismos de poder que regulam a distribuição e o uso dos recursos naturais. A forma como esses recursos são geridos pode levar a situações de escassez absoluta (esgotamento) ou relativa (consumo insustentável e desigualdade de acesso) (Acseirad, 2009; Leff, 2021).

No tocante aos ecossistemas aquáticos, torna-se imprescindível a análise de seu comportamento hidrológico, passo fundamental para a gestão de

recursos hídricos. A compreensão das vazões em bacias hidrográficas deve considerar alterações no uso e cobertura do solo, variabilidade climática, construção de barragens e expansão da irrigação, entre outros fatores. Costa, Botta e Cardille (2003) evidenciam que a substituição de uma cobertura vegetal por outra altera significativamente o regime hidrológico da bacia. Nesse contexto, destacam-se as bacias hidrográficas do rio Preto e do ribeirão Entre Ribeiros, afluentes do rio Paracatu, que abrangem uma área de aproximadamente 14.149 km² — sendo 74,87% em Minas Gerais, 15,71% em Goiás e 9,42% no Distrito Federal (Latuf, 2007) (Figura 9).



Figura 9. Imagem de satélite - pivôs centrais - confluência do rio Preto e ribeirão Entre-ribeiros com o rio Paracatu. Fonte: HIDROTEC - www.atlasdasaguas.ufv.br/paracatu/impacto_ambiental_relevante_na_bacia_do_rio_paracatu_em_minas_gerais.html.

Segundo Rodriguez (2004), entre 1970 e 2000, a principal demanda por água na bacia do Paracatu foi destinada à irrigação, que em 1996 representava mais de 78% do volume consumido, chegando a 93% na sub-bacia do Entre Ribeiros. Tal crescimento é resultado dos programas de incentivo à agricultura irrigada, como o Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro (PLANOROESTE), lançado na década de 1970. Contudo, a expansão agrícola tem provocado sérios conflitos nas sub-bacias do rio Preto e do ribeirão Entre Ribeiros, sobretudo devido às intensas transformações no uso do solo.

Esses conflitos refletem a realidade de muitos ecossistemas brasileiros, marcados pela desarticulação entre estratégias de gestão ambiental e territorial. Essa lacuna pode ser explicada, em grande parte, pela dificuldade do Estado brasileiro em implantar políticas públicas eficazes voltadas à transformação dos comportamentos individuais e coletivos (Jacobi, 2003; Ribeiro; Ferreira, 2020).

Exemplos de tecnologias que contribuem para o uso racional da água incluem *softwares* como o IRRIPLUS, voltados ao manejo adequado da irrigação. A incorporação de instrumentos tecnológicos e participativos no novo modelo de gestão hídrica brasileiro representa uma tentativa de romper com práticas historicamente excludentes e predatórias, promovendo, assim, maior equidade e sustentabilidade (Dias *et al.*, 2022; ANA, 2023).

Contudo, para Souza (2025), acrescentar conhecimento é fácil, difícil são as mudanças de hábitos. Ou seja, essa frase revela a necessidade de olhar para além da simples transmissão de conhecimento. O desafio maior está em transformar culturas, valores e rotinas — e isso exige um processo educativo contínuo, sensível e contextualizado. Conhecer é o primeiro passo. Mudar é o processo contínuo de aprender a agir diferente.

6. Estratégias para a transformação de valores e práticas sociais

Na prática, é indispensável que ocorra uma transformação estrutural tanto no campo organizacional quanto nas práticas educacionais, visando mudanças sólidas, duradouras e efetivamente sustentáveis. Para isso, faz-se necessário, entre outros aspectos: a) uma distribuição de renda mais equitativa, com vistas à superação da pobreza e das desigualdades sociais dela decorrentes; e b) o fortalecimento da participação e do controle social no processo de desenvolvimento. Tal cenário requer o surgimento de lideranças locais, nacionais e globais que sejam confiáveis, éticas e determinadas. Essas lideranças devem possuir uma visão estratégica de longo prazo e estar comprometidas com uma gestão integrada dos recursos naturais e do meio ambiente (Godard, 1997; Hoffman, 1997; Sachs, 2004; Souza, 2025).

Contudo, para Maser (1999), a liderança imprescindível ao desenvolvimento de elevados padrões morais e de consciência tem sido,

atualmente, confundida e desviada de sua essência. Segundo esse mesmo autor, o avanço da consciência ambiental nas sociedades somente ocorrerá à medida que se ultrapassem os encantos superficiais da ciência, cujas verdades são, muitas vezes, transitórias.

A relação com a natureza deve ser pautada por uma racionalidade que a respeite, sendo referenciada não apenas por saberes científicos, mas também por conhecimentos intuitivos, espirituais e éticos, cuja legitimidade é complementada pela ciência, mas não por ela substituída. Afinal, as questões socioambientais não são apenas científicas: envolvem valores, princípios e decisões morais que escapam à visão fragmentada e mecanicista dominante nas ciências econômicas contemporâneas (Morin, 2005; Latour, 2013).

Nesse sentido, torna-se fundamental adotar uma abordagem holística da questão ambiental. Bennett e Charley, *apud* Bowonder (1987), argumentam que a percepção ambiental resulta de múltiplos fatores interligados, tais como informação, experiências anteriores, predisposições cognitivas, estresse, pressões sociais, papéis e interações sociais, além de estruturas hierárquicas e sistemas de incentivos. Com base nesses elementos, compreende-se que o ambiente é construído socialmente, sendo produto de uma invenção coletiva. Bellia (1996) corrobora essa ideia ao afirmar que cada sociedade, em cada momento histórico, transforma o ambiente em recurso conforme sua cosmovisão, necessidades e valores dominantes.

Consciente dessa realidade, Purser (1997) defende que o desenvolvimento sustentável exige transformações profundas na percepção cultural, reconhecendo que o meio ambiente não se limita aos ecossistemas biofísicos, mas integra uma complexa rede de relações entre a consciência humana, os sistemas sociais e o meio natural, formando um centro sistêmico interdependente. Assim, a sustentabilidade passa a depender de uma reconfiguração da subjetividade coletiva e da ampliação da consciência ecológica (Leff, 2018).

Para Maser (1999), a trajetória de desenvolvimento de uma comunidade pode ser cooperativa e ecologicamente benigna ou competitiva e ecologicamente maligna, a depender da interação entre os fatores mencionados. Em qualquer caso, ele alerta que essa trajetória deve ser assumida

pessoalmente pelos membros da comunidade, de modo que as políticas futuras sejam guiadas por escolhas conscientes, sustentáveis e éticas. Afinal, as decisões tomadas no plano local impactam diretamente o plano global — como ilustram a depleção da camada de ozônio e a crescente poluição dos oceanos.

Nesse contexto, Buttel (1998) defende a institucionalização de práticas socio regulatórias baseadas em uma nova concepção de regulação ambiental, que vá além dos mecanismos tradicionais e incorpore a diversidade de saberes e práticas culturais, visando a construção de uma sustentabilidade justa e participativa.

Guimarães (1995), por sua vez, adotava uma postura crítica diante do discurso do desenvolvimento sustentável, argumentando que é imprescindível examinar suas contradições ideológicas, sociais e institucionais. Para ele, seria necessário analisar as múltiplas dimensões da sustentabilidade — ecológica, ambiental, social, cultural, econômica e política — e transformá-las em critérios objetivos e operacionais de política pública. Esse enfoque crítico, de acordo com Acselrad (2009), contribui para o fortalecimento de políticas que considerem a complexidade dos sistemas socioambientais.

Nesse mesmo sentido, Cunha e Coelho (2003) destacam as dificuldades em delinear as influências ideológicas que moldaram a política ambiental brasileira nas últimas décadas. As autoras identificaram dois eixos centrais de debate: a) a definição dos arranjos institucionais mais apropriados à regulação ambiental, oscilando entre a intervenção estatal, a autorregulação dos usuários dos recursos e a lógica de mercado; e b) o caráter das relações entre sociedade e meio ambiente, com divergências sobre a possibilidade de harmonizar o uso dos recursos naturais com a conservação da natureza. A proposta de uma atuação seletivamente intervencionista por parte do Estado é vista como uma alternativa viável, desde que fundamentada em critérios técnico-científicos e participativos (Brand, 2020).

A ampliação da sustentabilidade, portanto, requer o entrelaçamento entre a transformação cultural, a revisão das práticas institucionais e a redefinição do papel do Estado e da sociedade civil. Somente com uma atuação articulada entre esses atores será possível construir caminhos mais justos, resilientes e integrados para enfrentar os desafios socioambientais do presente e do futuro.

7. Limites e potencialidades da ação estatal pela sustentabilidade

As leis ambientais e as políticas públicas no Brasil passaram a receber atenção estratégica a partir dos anos da década de 1970, período em que a degradação ambiental se intensificava drasticamente. A crescente mobilização social e a pressão de organismos internacionais impulsionaram o governo a tratar a questão ambiental como prioridade. Esse novo olhar culminou na elaboração da Constituição Federal de 1988, que incorporou, de forma inédita, um capítulo específico dedicado ao meio ambiente, reconhecendo-o como um bem de uso comum e essencial à sadia qualidade de vida. A partir de então, observou-se a formulação e implantação de políticas públicas com forte viés ambiental, caracterizadas por uma tendência à descentralização e à participação social (Souza, 2004).

Segundo Godard (1997), as políticas públicas e suas instituições devem promover a cooperação entre as diversas atividades produtivas de um território, de modo a desenvolver sinergias no uso dos recursos naturais, visando uma gestão integrada e sustentável dos meios e dos equilíbrios ecológicos.

Para Cunha e Coelho (2003), as políticas ambientais brasileiras podem ser classificadas em três categorias distintas: regulatórias, estruturadoras e indutoras de comportamento.

✓ **Regulatórias:** referem-se à criação de legislações específicas e mecanismos institucionais destinados a normatizar o uso e o acesso aos recursos naturais, assegurando o cumprimento das leis. Exemplos incluem: a criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA, 1973); a Resolução CONAMA nº 001, que instituiu a obrigatoriedade do EIA/RIMA (1986); as leis sobre crimes ambientais relacionados a agrotóxicos e poluição (1989); a criação da Secretaria do Meio Ambiente (1990) e do Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal (1993); a promulgação da Lei de Crimes Ambientais (1998); a criação da Agência Nacional de Águas (ANA, 2000) e do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC, 2000).

✓ **Estruturadoras:** englobam políticas com intervenção direta do poder público ou de entidades não governamentais na proteção ambiental. Destacam-se: a formulação da Política Nacional do Meio Ambiente (1981); a instituição do

Sistema Nacional de Licenciamento Ambiental; a criação das Áreas de Proteção Ambiental (APA, regulamentadas em 1990); e a formulação da Política Nacional de Recursos Hídricos (1999).

✓ **Indutoras:** referem-se a ações voltadas à mudança de comportamento de indivíduos ou grupos sociais, alinhadas ao paradigma do desenvolvimento sustentável. Tais políticas são operacionalizadas por meio de incentivos fiscais, linhas de crédito e certificações. Entre os exemplos, destacam-se: a implantação de sistemas de certificação ambiental, como o selo verde e as normas ISO 9000 e 14000; a construção das Agendas 21 Locais e Regionais (iniciadas em 1992); e a promoção da educação ambiental e da gestão sustentável de práticas agropecuárias, sobretudo ao longo dos anos da década de 1990.

Nos últimos anos, autores como Jacobi (2022) e Acselrad (2021) têm ressaltado a importância da governança ambiental participativa e da justiça ambiental como componentes fundamentais para o aprimoramento das políticas públicas. Além disso, destaca-se o papel crescente de políticas climáticas e urbanas integradas na consolidação de estratégias sustentáveis de longo prazo, como observado nas diretrizes do Acordo de Paris e na Agenda 2030 da ONU (Leis, 2020).

Recentemente, as políticas públicas ambientais têm promovido transformações significativas em diversos segmentos da sociedade, impulsionando uma mudança de postura que se reflete na crescente exigência por parte da população quanto à responsabilidade socioambiental de empresas e ao papel fiscalizador e regulador do poder público. As organizações produtivas, por sua vez, são cada vez mais cobradas a incorporar práticas sustentáveis nos processos de produção, comercialização e gestão de resíduos. No entanto, deve-se reconhecer que o modelo estatal tecnocrático de regulação, quando não é complementado por políticas estruturadoras e indutoras, tende a apresentar fragilidades operacionais.

Essas limitações tornam-se evidentes, sobretudo em países em desenvolvimento, diante da escassez de pessoal qualificado, de recursos financeiros e de infraestrutura tecnológica adequada para executar ações de

fiscalização e monitoramento. A ausência de bancos de dados atualizados e acessíveis às instituições públicas também compromete a eficácia da atuação estatal, como destacado por McGrath (2003). Diante desse cenário, estratégias de co-manejo (ou manejo participativo) têm sido incentivadas como alternativa viável. Tais estratégias promovem a integração de iniciativas locais de regulação à estrutura formal de gestão dos recursos naturais, conferindo-lhes legitimidade institucional e estabelecendo parcerias para o monitoramento e uso sustentável dos ecossistemas.

Segundo o Relatório Brundtland (1991), as políticas públicas ambientais devem ser mais do que uma aspiração normativa: constituem uma necessidade vital para a manutenção dos sistemas naturais que sustentam a vida. Nesse sentido, o direcionamento das políticas deve estar voltado para a promoção do desenvolvimento sustentável, exigindo práticas de uso criterioso dos recursos naturais. Isso se torna ainda mais urgente no atual contexto de transição ecológica global, marcado por modelos de produção que privilegiam o crescimento econômico e o consumo desenfreado, em detrimento da sustentabilidade ambiental (Rosa *et al.*, 2022; Leroy, 2021).

Cunha e Coelho (2003) elucidam que, até meados dos anos da década de 1980, a formulação da política ambiental no Brasil era conduzida de forma centralizada pelo Estado. A partir desse período, entretanto, o processo passou a refletir de maneira crescente a interação entre diferentes atores sociais, portadores de ideias, valores e estratégias que coexistem num campo de disputas, alianças e contradições em torno da proteção ambiental. Esse processo representa, portanto, uma fase de reconfiguração das estruturas sociais, dos símbolos e dos paradigmas que orientam a ação coletiva e institucional.

Apesar dos avanços observados nas políticas participativas, ainda persistem contradições no interior do próprio Estado. Conforme destacam os autores, este continua sendo a instância central de formulação e operacionalização das decisões políticas, muitas vezes pautadas por interesses conflitantes. Por um lado, estabelece normas rigorosas de proteção ambiental; por outro, cria mecanismos legais e incentivos fiscais que acabam por favorecer a expansão das fronteiras agrícolas, a degradação ambiental e a exploração de

florestas nativas. Essa dualidade revela a complexidade dos processos de governança ambiental e os desafios para a construção de um modelo efetivamente sustentável (Acselrad, 2020; Leff, 2021).

As políticas públicas brasileiras voltadas para a proteção e conservação ambiental ainda se mostram insuficientes e ineficientes, especialmente no que tange à biodiversidade. Um exemplo histórico é a Mata Atlântica (Figura 10), cujo desmatamento acelerado ocorreu por ausência de políticas efetivas no passado, enquanto a Floresta Amazônica enfrenta, atualmente, um quadro similar. Conforme Diegues (1997), a ocupação da região amazônica revela essa contradição, pois o próprio Estado instituiu políticas e mecanismos de incentivos fiscais que contribuíram para o agravamento da degradação ambiental.



Figura 10. Área de Mata Atlântica desmatada e degradada pela atividade de bovinocultura, Aimorés, MG. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2020.

Segundo o relatório do World Wildlife Fund – WWF (1999), embora o Brasil detenha uma das legislações ambientais mais rigorosas do mundo e possua grande riqueza natural, os órgãos responsáveis pela fiscalização e monitoramento demonstram-se insuficientes no combate à devastação, ocasionando perda considerável da biodiversidade. Em relação às unidades de conservação federais (UCs), o relatório destaca que, das 86 avaliadas, 41% são medianamente ou muito vulneráveis a impactos antrópicos. Ademais, das UCs

de uso integral, 41% têm mais da metade de suas áreas de entorno desmatadas, estando vulneráveis à ocupação por agricultura intensiva, polos industriais, centros urbanos e mineração.

Terborgh (1999) identifica os principais desafios para a conservação da natureza como problemas sociais complexos, tais como: a superpopulação; desigualdade de poder e riqueza; exaustão dos recursos naturais; corrupção; ausência ou falhas legais; pobreza; e instabilidade social. Para esse autor, as pressões exercidas pelo desenvolvimento econômico e crescimento populacional nos trópicos são as principais causas da destruição ambiental. Além disso, destaca que áreas protegidas frequentemente são percebidas pelas populações locais como imposições governamentais que desconsideram modos tradicionais de uso da terra. Apesar disso, recomenda o fortalecimento da fiscalização e proteção dessas áreas até que uma educação ambiental eficaz seja promovida nas comunidades.

Conforme o RELATÓRIO... (1991), a educação ambiental é fundamental para a transformação social que o país enfrenta, estando inclusive prevista na Constituição Federal como uma responsabilidade do setor público, que deve promover a conscientização social para a defesa ambiental. Existem diversas normas, leis federais, estaduais e municipais que preveem a obrigatoriedade da educação ambiental. Contudo, sua efetividade esbarra em problemas estruturais do sistema educacional brasileiro, sobretudo na falta de capacitação adequada do corpo docente (Oliveira; Silva, 2018; Sato *et al.*, 2020).

Tundisi (2003) ressalta que as soluções para a gestão ambiental não podem prescindir de embasamento técnico e de capacidade real de resolução de problemas, sendo imprescindível o estabelecimento de parcerias entre setores. O conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental promove a integração entre ecologia e ativismo ambiental, superando os limites políticos tradicionais (Schiavetti; Camargo, 2002) (Figura 11).



Figura 11. Área de Mata Atlântica recuperada no Instituto Terra, Aimorés, MG: integração entre o setor privado, usuários, universidades e o setor público. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2020.

A ausência de visão sistêmica e a incapacidade de incorporar aspectos econômicos e sociais dificultam o planejamento e a implantação de políticas públicas eficazes (Biswas, 1983). Nesse sentido, o gerenciamento adequado das bacias hidrográficas exige a integração entre o setor privado, usuários, universidades e o setor público (Tundisi, 2003; Martins *et al.*, 2021)

Weid (1997) destaca que as políticas públicas para o meio rural devem promover o desenvolvimento sustentável a partir de: a) acesso à terra com modelos associativos e cooperativos, incluindo educação ambiental como estratégia para difusão tecnológica; b) mudança do modelo convencional agrícola para práticas que valorizem o conhecimento local, com baixo uso de insumos e alta diversidade ecológica; c) reformulação da pesquisa para que esta seja elaborada conjuntamente por produtores, pesquisadores e técnicos; d) atendimento às demandas econômicas com foco na sustentabilidade e ascensão dos produtores; e) mudanças ideológicas, estimulando a agroecologia e o apoio a políticas como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF); f) fortalecimento da organização política em prol de práticas agrícolas alternativas.

Entre as propostas para políticas públicas, Weid (1997) sugere: a) valorização regional mediante divulgação da cultura local, fiscalização ambiental, promoção da educação ambiental, implantação de centros de comercialização e divulgação de iniciativas sustentáveis; b) ampla reforma agrária baseada na sustentabilidade; c) promoção da agricultura familiar e modelos produtivos sustentáveis; d) maior integração entre academia e agricultores para desenvolvimento tecnológico e valorização dos saberes tradicionais; e) incorporação de abordagens alternativas nas universidades (Costa *et al.*, 2019; Almeida; Pereira, 2022).

Assim, apesar dos avanços em participação social e formulação de políticas ambientais, persistem desafios estruturais, sociais e econômicos que exigem estratégias integradas e multidisciplinares para efetivar o desenvolvimento sustentável no Brasil.

8. A dinâmica do setor produtivo frente à sustentabilidade

De acordo com o Relatório... (1991), a relação do setor privado com a proteção ambiental, fundamental para o desenvolvimento sustentável, deve ser compreendida “como parte do processo político-institucional histórico do país, em especial do papel que o Estado desempenhou na mediação entre as forças sociais e na garantia dos direitos democráticos”. Segundo este documento, tais características, aliadas ao perfil da distribuição de renda, explicam como, em geral, “o eixo de decisões na sociedade pende excessivamente para o mesmo lado da concentração de renda, penalizando o exercício de direitos básicos de cidadania, entre os quais o da qualidade de vida”. Assim, o poder econômico, em nome do desenvolvimento, frequentemente promoveu agressões ao meio ambiente, desconsiderando a existência das leis.

Contudo, é imprescindível que a gestão ambiental seja incorporada ao planejamento e à operação agropecuária, agroindustrial e industrial, assim como às relações com a comunidade, exigindo mudanças organizacionais profundas. Segundo Sanches (1997), as empresas respondem às questões ambientais de formas variadas, dependendo do tipo de negócio, dos potenciais impactos ambientais, das pressões sociais, do porte da organização e da complexidade

da estrutura corporativa. Embora tenha havido mudanças significativas no comportamento empresarial, essa autora destaca diferentes posturas ambientais adotadas pelas empresas, que podem ser classificadas em:

- ✓ Postura de não-conformidade – a empresa não cumpre sequer as exigências legais ambientais;

- ✓ Postura reativa – a empresa busca se adaptar às regulamentações ou exigências de mercado, mas ainda vê o meio ambiente como um fator externo ao sistema produtivo;

- ✓ Postura em transição – a empresa tenta integrar a dimensão ambiental na estrutura organizacional, embora sem atender completamente as pressões econômicas e sociais;

- ✓ Postura proativa – a empresa visa a excelência ambiental em todos os processos administrativos, considerando a responsabilidade ambiental e o desenvolvimento sustentável como pilares.

Hoffman (1997) e Nardelli (2001) defendem que compreender o atual estágio do ambientalismo empresarial, ainda marcado por contradições, requer uma abordagem sistêmica do contexto organizacional, incluindo fatores além dos mecanismos políticos e legais relacionados ao meio ambiente. Eles argumentam que, em muitos casos, a atenção empresarial ao tema ambiental oscila mais em função da opinião pública do que de restrições legais ou custos financeiros. A mudança institucional para uma visão evolutiva da sustentabilidade ocorrerá quando novos arranjos organizacionais forem construídos por meio de consensos e compromissos negociados, respeitando os conflitos culturais entre os grupos que representam interesses sociais, econômicos e ambientais.

A adoção consciente da conservação ambiental, entendida como base para a autorregulação e não apenas como cumprimento obrigatório de normas, pode transformar benefícios ambientais em vantagens econômicas. Por meio dessa postura, as organizações podem criar instituições estáveis que evitem a degradação dos recursos comuns, contrariando a previsão da “tragédia dos comuns” e reduzindo a necessidade de intervenção estatal intensa (Ostrom, 1990).

Por outro lado, Kapp (1976) *apud* Godard (1997) adverte que não se deve subestimar as forças que moldam o comportamento dos atores públicos e privados, especialmente a lógica da economia de mercado, que tende a pressionar pela externalização de custos e internalização de lucros.

Autoras e autores mais recentes, como Porter e Kramer (2019), enfatizam o conceito de “criação de valor compartilhado”, onde o setor produtivo pode gerar benefícios econômicos ao mesmo tempo em que promove impactos sociais e ambientais positivos. Já Elkington (2018) reforça a importância do modelo ESG (Environmental, Social and Governance) como estrutura para a integração da sustentabilidade na estratégia corporativa, destacando que empresas que adotam essas práticas tendem a apresentar melhor desempenho financeiro e maior resiliência.

Além disso, Hart e Milstein (2020) propõem que a inovação sustentável deve ser central na agenda corporativa, enfatizando que a gestão ambiental deve ser vista como oportunidade estratégica para a transformação dos negócios diante dos desafios globais.

9. Construção coletiva: liderança, ética e cooperação

Pearce *et al.* (1988), ao analisarem a importância e os desafios das questões sociais, reconhecem que a economia, como um ramo das Ciências Sociais, não pode prescindir, em suas análises, do respeito a parâmetros éticos bem definidos. Partem do princípio de que “desenvolvimento é um vetor de objetivos sociais desejáveis, que podem incluir: a) aumento da renda per capita; b) melhoria das condições de saúde e nutrição; c) avanço educacional; d) acesso aos recursos; e) distribuição mais justa da renda; e f) ampliação das liberdades básicas”.

Na atualidade, diante das crescentes preocupações relativas à sobrevivência do ser humano no planeta e à própria integridade ambiental, o foco tem se voltado para as relações entre homem-natureza e ciência-tecnologia-técnica. Propõe-se a adoção de caminhos harmoniosos que sejam economicamente eficazes, socialmente equilibrados e ecologicamente prudentes, isto é, embasados em princípios éticos sólidos (Brüseke, 1998).

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), citado no Relatório... (1991), aponta que as duas causas fundamentais da crise ambiental são a pobreza e o mau uso da riqueza: os mais pobres são forçados a destruir, em curto prazo, os recursos que sustentam suas perspectivas de sobrevivência no longo prazo, enquanto a minoria rica gera demandas sobre recursos que são, em última análise, insustentáveis, repassando os custos aos mais vulneráveis.

Conforme Pearce *et al.* (1988) e Pearce e Turner (1989), as condições éticas essenciais para o desenvolvimento sustentável, que asseguram a não degradação do capital natural e evitam o empobrecimento social, envolvem quatro pilares fundamentais. O primeiro é a justiça para com os socialmente desprovidos (equidade intrageracional), que demanda políticas e práticas que garantam acesso equitativo aos recursos e oportunidades no presente, especialmente para populações marginalizadas.

O segundo é a justiça entre as gerações (equidade intergeracional), que exige que as decisões atuais não comprometam a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades. A aversão ao risco, por sua vez, implica cautela frente à incerteza ambiental e social, adotando o princípio da precaução diante de práticas potencialmente danosas. Por fim, a eficiência econômica deve ser buscada não apenas sob a lógica de maximização do lucro, mas considerando o uso racional dos recursos naturais, a minimização de desperdícios e a internalização dos custos ambientais nos processos produtivos. Esses princípios formam a base ética do desenvolvimento sustentável, orientando políticas públicas e decisões sociais rumo a uma convivência mais justa e equilibrada entre sociedade e natureza.

Complementando essas perspectivas, autores contemporâneos como Sen (1999) reforçam a importância da liberdade como elemento central do desenvolvimento humano, destacando que a ética deve orientar tanto as decisões econômicas quanto sociais, promovendo a equidade e a participação ativa da sociedade. Além disso, Raworth (2017) propõe o conceito do "donut econômico", que estabelece limites sociais e planetários para garantir que o desenvolvimento econômico não ultrapasse os limites éticos e ambientais do planeta.

No âmbito da liderança e da visão compartilhada, Senge (2006) enfatiza que organizações e comunidades sustentáveis dependem de lideranças que cultivem uma visão coletiva, fundamentada em valores éticos e na responsabilidade social, promovendo a colaboração e o engajamento de todos os atores envolvidos. A ética organizacional, segundo Treviño e Nelson (2021), é um componente fundamental para o desenvolvimento sustentável, pois orienta comportamentos e decisões que impactam diretamente na justiça social e ambiental.

10. Sustentabilidade em construção: rumos e possibilidades

De acordo com o Relatório... (1991), a retomada do crescimento econômico, ainda persistente nos dias atuais, não é suficiente para solucionar os múltiplos desafios do desenvolvimento sustentável. É imprescindível que, paralelamente à transformação da estrutura produtiva, que garanta a recuperação do dinamismo econômico, sejam implantadas políticas que promovam maior equidade social. Os critérios de eficiência econômica orientados exclusivamente pelas forças de mercado são insuficientes para reduzir as desigualdades sociais e regionais, tão características do Brasil, bem como para garantir o uso racional dos recursos naturais, respeitando suas aptidões específicas. Dessa forma, o uso intensivo dos fatores de produção tenderia a reproduzir o modelo inicial que lhe conferiu sustentação, perpetuando assim o ciclo de desigualdades e degradação ambiental.

Assim, torna-se necessário que as políticas sociais ultrapassem o mero enfoque na redução da pobreza, propondo reformas estruturais nas organizações e programas sociais com visão de longo prazo. Segundo o Relatório... (1991), o maior desafio permanece no campo político-institucional, onde se faz necessária a construção de novas alianças entre os diversos grupos sociais e reformas das instituições públicas que possam sustentar e legitimar o consenso para as mudanças propostas.

Griffith (1992) observa que, particularmente a partir dos anos da década de 1990, as organizações passaram a operar sob novas demandas institucionais, incorporando princípios éticos e uma maior responsabilidade social em seus

negócios. No cenário global, processos de democratização, descentralização e liberalização econômica têm permitido à sociedade questionar e criticar projetos e modelos de desenvolvimento econômico que não contemplem, em sua essência, medidas eficazes de proteção ambiental.

Nesse contexto, as organizações preocupadas com seu sucesso reconhecem que, para se manterem competitivas, devem avaliar suas atitudes tanto internamente quanto em relação ao meio externo. Buscam, portanto, adaptar seus processos produtivos a realidades que favoreçam as comunidades locais e o meio ambiente, garantindo, dessa forma, sua permanência no mercado. Contudo, uma transformação ambiental eficaz não é apenas estrutural, mas envolve mudanças profundas nos comportamentos organizacionais. Nesse sentido, a cultura organizacional será o elemento determinante dos fundamentos, da profundidade e da permanência desses novos comportamentos (Nardelli, 2001) (Figura 12).



Figura 12. Área de Mata Atlântica recuperada no Instituto Federal Sudeste de Minas campus Rio Pomba, MG: recuperação de mata ciliar para cumprimento da legislação e para atender fins didáticos. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

Complementando essa perspectiva, autores atuais como Elkington (2018) reforçam a importância do conceito de “triple bottom line” — o equilíbrio entre desempenho econômico, social e ambiental — como essencial para a sustentabilidade organizacional. Além disso, Sachs (2015) destaca que o

desenvolvimento sustentável depende da integração de políticas públicas eficazes, inovação tecnológica e governança participativa, que garantam o equilíbrio entre crescimento econômico, justiça social e conservação ambiental.

Por fim, autores como Porter e Kramer (2019) argumentam que a criação de valor compartilhado, em que as empresas geram valor econômico ao mesmo tempo em que promovem valor social, é uma abordagem estratégica fundamental para a construção de uma economia mais sustentável e inclusiva.

11. Estratégias para a efetivação do desenvolvimento sustentável

Na visão do Relatório... (1991), os principais procedimentos necessários para alcançar o desenvolvimento sustentável são os seguintes:

- ✓ Formação de recursos humanos — que deve resultar na universalização do acesso à educação básica e na conscientização da população acerca dos problemas ambientais;
- ✓ Política pública — com prioridade para a área social e para os recursos humanos, ampliando e intensificando a formação de educadores e profissionais das diversas áreas científicas;
- ✓ Organização e administração dos processos de trabalho nos diversos setores — garantindo a participação dos produtores nas decisões que impactam seus destinos;
- ✓ Descentralização sistemática do aparelho decisório;
- ✓ Desenvolvimento de políticas específicas alinhadas às peculiaridades regionais, com promoção prioritária de atividades geradoras de emprego que assimilem e incorporem tecnologias capazes de maximizar o aproveitamento dos recursos energéticos locais e desenvolver novos produtos orientados para os mercados interno e externo;
- ✓ Formação interna e intercâmbio com pesquisadores estrangeiros, seguido da fixação destes em instituições brasileiras de ensino e pesquisa, de modo a fomentar a competência científica em questões ambientais;

- ✓ Estímulo a cursos de formação, reciclagem e pós-graduação direcionados à área ambiental;
- ✓ Promoção de treinamentos intensivos em gestão de recursos e impactos ambientais, tanto nas empresas privadas quanto nas instituições públicas;
- ✓ Criação de uma base organizacional compatível com novos modelos de gestão;
- ✓ Implantação de uma nova gestão ambiental, na qual o Estado divida responsabilidades com o setor privado, ONGs e a sociedade em geral, tanto por motivos financeiros quanto democráticos. Essa gestão deve ser descentralizada, com maior equidade na distribuição dos custos e uma visão abrangente, que considere as questões ambientais e socioeconômicas;
- ✓ Desenvolvimento de sistemas tecnológicos fechados, ou seja, com mínima dependência dos recursos naturais.

Apesar de significativas alterações no tratamento político, legal e institucional das questões ambientais no Brasil, segundo o Relatório... (1991), não se pode dizer o mesmo do ponto de vista econômico, financeiro, científico e tecnológico, cujas limitações estruturais impedem a plena concretização de soluções em curto prazo. Para isso, faz-se necessária a revisão dos conceitos socioeconômicos e das políticas públicas vigentes.

Diante disso, evidencia-se a necessidade de formulação de novas estratégias, sobretudo nas áreas tecnológica e financeira, com a participação ativa do setor privado, devido ao seu papel fundamental na geração de tecnologias e no sistema financeiro. Nesse contexto, a ética torna-se imprescindível para estabelecer bases sustentáveis, como a transferência tecnológica aos produtores familiares. Paralelamente, os modelos produtivos e os sistemas de administração precisam ser continuamente reavaliados e aprimorados.

Complementando essas perspectivas, autores atuais como Meadows *et al.* (2021) ressaltam a importância da governança integrada e da inovação tecnológica sustentável como pilares para a transição a modelos de desenvolvimento compatíveis com os limites ecológicos. Além disso, Sachs (2015) destaca que o fortalecimento das capacidades locais e o investimento em

educação ambiental são estratégias essenciais para garantir a inclusão social e a preservação ambiental em longo prazo.

Autores como Elkington (2018) enfatizam ainda a necessidade de um compromisso ético compartilhado entre Estado, empresas e sociedade civil para promover a sustentabilidade, reforçando que a cooperação multidimensional é fundamental para o sucesso das políticas públicas e iniciativas privadas (Figura 13). Essa abordagem baseia-se na ideia do *Triple Bottom Line* — ou *tripé da sustentabilidade* — que articula três dimensões indissociáveis: econômica, social e ambiental. Nesse contexto, a ética funciona como fio condutor das relações entre os atores sociais, garantindo que decisões e práticas levem em consideração não apenas os resultados financeiros, mas também os impactos sociais e ecológicos.



Figura 13. Área de Mata Atlântica recuperada no Instituto Terra, Aimorés, MG: cooperação multidimensional das iniciativas privadas e políticas públicas. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2020.

A atuação isolada de qualquer um desses setores tem se mostrado insuficiente diante da complexidade dos desafios contemporâneos, como as mudanças climáticas, a desigualdade social e a degradação dos recursos naturais. Assim, a colaboração entre governo, setor produtivo e comunidades locais permite o desenvolvimento de políticas mais eficazes, o fortalecimento de

iniciativas baseadas em responsabilidade socioambiental e o surgimento de práticas mais transparentes e democráticas. Além disso, essa cooperação favorece a criação de ambientes de inovação social, onde soluções sustentáveis emergem do diálogo entre diferentes saberes e interesses.

12. Considerações

O desenvolvimento sustentável configura-se como um desafio complexo e multidimensional, cuja superação exige a integração harmônica entre as dimensões econômica, social, ambiental, cultural, ética e política. Conforme discutido ao longo deste trabalho, não basta estimular o crescimento econômico isoladamente; é essencial assegurar a justiça social, a conservação dos ecossistemas e a equidade na distribuição de oportunidades e recursos. Esses elementos, interdependentes, formam o alicerce de uma sociedade verdadeiramente sustentável, na qual o progresso não seja conquistado à custa da degradação ambiental ou da exclusão social.

Como apontam diversos autores citados no texto, é preciso abandonar a lógica desenvolvimentista centrada apenas na expansão do Produto Interno Bruto e adotar uma concepção ampliada de desenvolvimento, que valorize a diversidade biocultural, os direitos humanos, o bem-estar coletivo e a resiliência dos sistemas naturais. A adoção de princípios éticos nas decisões públicas e privadas torna-se, nesse sentido, imperativa para garantir a integridade dos processos socioambientais.

A participação ativa da sociedade civil, a descentralização das decisões e a formulação de políticas públicas sensíveis às especificidades regionais são aspectos fundamentais para a transição rumo a um modelo sustentável. O desenvolvimento não pode ser imposto de forma vertical; deve emergir das realidades locais, reconhecendo o saber das comunidades tradicionais, dos agricultores familiares, das mulheres e jovens protagonistas da transformação social. A democracia participativa, aliada à gestão compartilhada e à transparência institucional, representa um caminho promissor para reconstruir a confiança entre o Estado e a sociedade.

Outro ponto fundamental é o investimento na formação contínua de recursos humanos e no fortalecimento das capacidades científicas e tecnológicas. É indispensável ampliar o acesso à educação básica, qualificar profissionais nas áreas estratégicas e estimular a produção de conhecimento voltado às soluções sustentáveis. A cooperação entre universidades, centros de pesquisa, setor produtivo e movimentos sociais pode fomentar uma ciência comprometida com a transformação da realidade, orientada pela ética da responsabilidade socioambiental.

Ademais, a necessária transformação ultrapassa reformas estruturais ou administrativas, exigindo uma mudança profunda de paradigmas culturais. É no seio das instituições e organizações que se consolidam os valores, atitudes e comportamentos. Portanto, é fundamental incorporar no cotidiano institucional uma cultura voltada à sustentabilidade, com práticas coerentes, inclusivas e integradas.

No contexto atual, marcado pelas emergências climáticas, pela perda da biodiversidade e pelas desigualdades sociais acentuadas, torna-se evidente que a superação dos obstáculos econômicos, financeiros e institucionais dependerá de uma articulação ampla entre os diversos setores da sociedade. É preciso promover a equidade intra e intergeracional, garantindo que as necessidades do presente sejam atendidas sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprirem as suas próprias demandas.

A construção de um modelo sustentável também requer o fortalecimento das economias locais, a valorização da agroecologia, a promoção de cadeias produtivas de baixo impacto ambiental e a democratização do acesso à terra, à água e à energia. A sustentabilidade depende, em grande medida, da capacidade de reinventar nossas formas de viver, produzir, consumir e nos relacionar com a natureza.

Assim, o desenvolvimento sustentável não deve ser entendido apenas como um objetivo distante, mas como um processo contínuo, um compromisso ético-político que exige consciência crítica, ação coletiva e visão de longo prazo. Sua concretização depende da coragem de repensar os modelos hegemônicos, da disposição para o diálogo intercultural e da construção de alternativas que

respeitem os limites ecológicos do planeta, promovam justiça social e garantam a dignidade de todos os seres humanos e não humanos.

13. Referências

ACSELRAD, H. **Ambientalização das lutas sociais: o caso do movimento por justiça ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2020.

ACSELRAD, H. Ambientalização das lutas sociais: o caso do movimento por justiça ambiental no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, v. 24, n. 69, p. 5-22, 2009.

ACSELRAD, H. **Justiça ambiental: construindo uma crítica social aos impactos socioambientais**. Rio de Janeiro: Garamond, 2021.

ACSELRAD, H. **Sustentabilidade e justiça ambiental: o discurso da sustentabilidade e suas contradições sociais**. Rio de Janeiro: FASE, 2009.

ADLARD, P. G. **Sustainability: the concept of “sustainability” as applied to tree plantation**. London: SIPC/WWF, 1993. 32 p. (Shell/WWF Tree Plantation Review, 5).

ADLARD, P. **Produção Sustentável e Desenvolvimento**. São Paulo: Editora Sustentare, 1993.

ALMEIDA, J. R.; PEREIRA, M. F. Educação ambiental e sustentabilidade: desafios para a formação docente no século XXI. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 45-61, 2022.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecologia: fundamentos e aplicações**. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2020.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2023.

ANDERSON, A. B. Land use: strategies for successful extractive economies in Amazonian. **Advances in Economic Botany**, v. 9, p. 67-77, 1992.

BELLIA, V. **Introdução à economia do meio ambiente**. Brasília: IBAMA, 1996. 262p.

BISWAS, A. K. Major water problems facing the world. **Water Resources Development**, v. 1, p. 1-14, 1983.

BISWAS, A. K. Water resources policies and management: a review. **Water Resources Development**, v. 2, n. 1, p. 5-24, 1983.

BOWONDER, B. Environment management conflicts in developing countries: analysis. **Environmental Management**, v. 7, n. 3, p. 211-222, 1987.

BRAND, U. Sustainable development: historical roots of the discourse. In: KURIAN, M.; ARYAL, K. (Ed.). **Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals**. Springer, 2020.

BRUNDTLAND, G. H. **Nosso futuro comum**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1987. 430 p.

BRÜSEKE, F. J. A crítica da técnica moderna. **Estudos, Sociedade e Agricultura**, n. 10, p. 81-103, 1998.

BUTTEL, F. H. Some observations on states, world orders and the politics of sustainability. **Organization & Environment**, v. 11, n. 3, p. 261-268, 1998.

CAPRA, F. **As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável**. São Paulo: Cultrix, 2003.

CAPRA, F. **The web of life**. New York: Anchor, 1996. 347 p.

CAPRA, F.; LUISI, P. L. **A visão sistêmica da vida: uma nova concepção científica sobre os sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix, 2016.

CNPT. Centro Nacional para o Desenvolvimento Sustentado das Populações Tradicionais. **Diretrizes para o Desenvolvimento Sustentável nas Reservas Extrativistas**. Brasília: IBAMA, 2003.

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, n. 34, p. 4-11, 2003.

COSTA, R. S. et al. Agroecologia e políticas públicas: um caminho para a sustentabilidade no campo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 121-136, 2019.

CUNHA, C.; COELHO, M. Políticas públicas ambientais no Brasil. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 1, p. 45-62, 2003.

CUNHA, L. H.; COELHO, M. C. N. Política e gestão ambiental. In: CUNHA, S. P.; GUERRA, A. J. T. (org.). **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 43-79.

DIAS, N. W. *et al.* **Governança da água no Brasil: experiências e desafios**. Belo Horizonte: UFMG, 2022.

DIEGUES, A. C. M. **O mito moderno da natureza intocada**. São Paulo: Hucitec, 1997.

EL SERAFY, S. The proper calculation of income from depletable natural resources. In: UNEP; WORLD BANK (Org.). **Environmental accounting for sustainable development**: proceedings of the UNEP/World Bank Symposium, 1989. p. 10–18.

ELKINGTON, J. 25 Years of ESG: shaping the future of responsible investment. **Sustainable Development Journal**, v. 28, n. 4, p. 789-795, 2018.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks**: the triple bottom line of 21st century business. Oxford: Capstone, 2018.

ENA. ENCONTRO NACIONAL DE AGROECOLOGIA (1.: 2003: Rio de Janeiro, RJ). Apresentação. In: **Anais...** Rio de Janeiro: AS-PTA, 2003. p. 7.

ENA. ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO. **Relatório técnico sobre políticas públicas e desenvolvimento sustentável**. Brasília: ENA, 2003.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Food and Agriculture 2002**. Rome: FAO, 2002. Disponível em: <https://www.fao.org/3/y6000e/y6000e00.htm>. Acesso em: 13 maio 2025.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Forestry for rural communities. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL SOBRE REFORMA AGRÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL, 1979, Roma. **Anais...** Roma: FAO, 1979. p. 3.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World Agriculture**: towards 2015/2030. Summary report. Rome: FAO, 2002.

FREITAS, J. S.; MATHIS, A.; CORDEIRO FILHO, M.; HOMMA, A. K. O.; SILVA, D. C. Reservas extrativistas na Amazônia: modelo de conservação ambiental e desenvolvimento social. **Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v. 23, n. 2, p. 257-268, 2011. Disponível em: <https://dcmpx.remotevs.com/edu/academia/www/SL/45591905>. Acesso em: 24 maio 2025.

GODARD, O. A gestão integrada dos recursos naturais e do meio ambiente: conceitos, instituições e desafios de legitimação. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Org.). **Gestão de recursos naturais e renováveis**: novos desafios para a pesquisa ambiental. São Paulo: Cortez, 1997. p.17-50.

GRIFFITH, A. Corporate social responsibility and environmental management: new institutional demands. **Journal of Business Ethics**, v. 11, n. 3, p. 217–225, 1992.

GRIFFITH, J. J. Gerenciamento da produção agrícola e seu impacto ambiental. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, 1992, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1992. p. 75–92.

GUIMARÃES, R. P. **Ecodesenvolvimento**: uma proposta para repensar o desenvolvimento. São Paulo: Cortez, 1995.

GUIMARÃES, R. P. O desenvolvimento sustentável: proposta alternativa ou retórica neoliberal? In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL O DESAFIO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: A GEOPOLÍTICA, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 1995. p. 4.

HART, S.; MILSTEIN, M. Creating sustainable value. **Academy of Management Executive**, v. 14, n. 2, p. 56-69, 2020.

HOFFMAN, R. Desenvolvimento e meio ambiente: os desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 29, p. 7–27, 1997.

HOMMA, A. K. O. Sustentabilidade sócio-ambiental na Amazônia. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 399-415, 2002. Disponível em: <https://1library.org/article/sustentabilidade-s%C3%B3cio-ambiental-na-amaz%C3%B4nia.yd97mmez>. Acesso em: 24 maio 2025.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.

IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Oportunidades para o desenvolvimento do estuário amazônico**. Belém: Imazon, 2018. (Série Oportunidades para a Amazônia, n. 15). Disponível em: <https://imazon.org.br/oportunidades-para-o-desenvolvimento-do-estuario-amazonico-n-15>. Acesso em: 24 maio 2025.

JACOBI, P. R. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n. 118, p. 189-205, jul. 2003.

JACOBI, P. R. Governança ambiental e justiça climática: desafios contemporâneos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, n. 58, p. 14-25, 2022.

KAPP, K. W. The social costs of business enterprise. In: GODARD, O. (Org.). **Economia ambiental e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Cortez, 1997.

LATOURE, B. **Jamais fomos modernos**. São Paulo: Editora 34, 2013.

LATUF, M. O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 103p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2007.

LEFF, E. **A aposta pela vida: imaginação sociológica e racionalidade ambiental.** São Paulo: Cortez, 2018.

LEFF, E. **Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza.** 8. ed. São Paulo: Cortez, 2021.

LEIS, H. R. **Sustentabilidade, política e crise ambiental global: desafios do século XXI.** Florianópolis: Insular, 2020.

LEROY, J. P. **Desenvolvimento insustentável: ecologia, economia e ética.** Rio de Janeiro: Lamparina, 2021.

MACEDO, M. M. de *et al.* **Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental.** Maringá: EDUEM, 2000.

MACEDO, R. L. G.; VENTURIM, N.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Princípios de agrossilvicultura como subsídio do manejo sustentável. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 202, p. 93-98, 2000.

MacGRATH, D. G. Avoiding a tragedy of the commons: recent developments in the management of Amazonian fisheries. In: CUNHA, S. P.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **A questão ambiental: diferentes abordagens.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 61.

MARTINS, L. A. *et al.* Gestão integrada de bacias hidrográficas: desafios e perspectivas. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, n. 5, p. 1-14, 2021.

MASER, C. **Sustainability and the civil commons: rural communities in the age of globalization.** Delray Beach: St. Lucie Press, 1999. 235 p.

McGRATH, D. G. **Manejo participativo de recursos naturais: lições da várzea amazônica.** São Paulo: Editora SENAC, 2003.

MEADOWS, D. H. *et al.* **Limits to growth: the 30-year update.** White River Junction: Chelsea Green Publishing, 2021.

MONTEIRO, D. **Artesãos da floresta: população tradicional e inovação tecnológica. O caso do couro vegetal na Reserva Extrativista do Alto Juruá, Acre.** 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <https://www.academia.edu/4564611>. Acesso em: 24 maio 2025.

MORIN, E. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento.** 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

NARDELLI, A. M. B.; GRIFFITH, J. J. **Introdução ao Sistema de Gestão Ambiental**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Núcleo de Gestão Integrada, 2000. 60 p. (Apostila de curso).

NARDELLI, M. C. Meio ambiente e empresas: aspectos institucionais e organizacionais. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 2, p. 157-171, 2001.

OLIVEIRA, M. R.; SILVA, T. P. A formação docente para a educação ambiental no Brasil: avanços e desafios. **Educação em Revista**, v. 34, p. e203456, 2018.

OSTROM, E. **Governing the commons**: the evolution of institutions for collective action. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 280 p.

PDSA. Programa de Desenvolvimento Sustentável do Estado do Amapá. **Desenvolvimento sustentável**. 2003. Disponível em: <http://www.ap.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2023.

PEARCE, D. *et al.* **Blueprint for a green economy**. London: Earthscan, 1988.

PEARCE, D. W.; BARBIER, E.; MARKANDIA, A. **Sustainable development and cost-benefit analysis**. London: London Environmental Economics Center, 1988. 425 p.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of natural resources and the environment**. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1989. 378 p.

PNUMA. Environmental crisis and social causes. In: **RELATÓRIO**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 1991.

PORTER, M. E.; KRAMER, M. R. Creating shared value. **Harvard Business Review**, v. 89, n. 1/2, p. 62–77, 2019.

PURSER, R. E. From global management to global appreciation: a transformative epistemology for a perspective world. **Organization & Environment**, v. 10, n. 4, p. 361-383, 1997.

RAWORTH, K. **Doughnut economics**: seven ways to think like a 21st-century economist. London: Chelsea Green Publishing, 2017.

RELATÓRIO BRUNDTLAND. **Nosso futuro comum**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: FGV, 1991.

RIBEIRO, W. C.; FERREIRA, L. C. S. **O desafio ambiental**: uma introdução à geografia do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2020.

RODRIGUEZ, A. R. **O uso da água na bacia hidrográfica do rio Paracatu**. Brasília: CODEVASF, 2004.

RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas**: Estudo de Caso da Bacia do Paracatu. Viçosa, MG: UFV/DEA, 2004, 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

ROSA, L. P.; LIMA, A. S.; OLIVEIRA, M. R. **Política ambiental brasileira: desafios para a sustentabilidade**. São Paulo: Editora Contexto, 2022.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2021.

SACHS, J. **The age of sustainable development**. New York: Columbia University Press, 2015.

SALLIER, J. **Écologie et économie**. Paris: Éditions du Seuil, 1990.

SANCHES, M. S. **Gestão ambiental nas empresas**. São Paulo: Atlas, 1997.

SATO, M. H. *et al.* Capacitação docente para a educação ambiental: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Educação**, v. 25, p. 87-104, 2020.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas**. Florianópolis: UESC, 2002. 289 p.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. O conceito de bacia hidrográfica e a gestão ambiental integrada. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 27-40, 2002.

SCHMIDT, A. **El concepto de naturaleza en Marx**. Madrid: Siglo Veintiuno, 1976. 86 p.

SCHMIDT, A. **O conceito de natureza em Marx**. Lisboa: Edições 70, 1976.

SEN, A. **Development as freedom**. New York: Anchor Books, 1999.

SENGE, P. **The fifth discipline: the art and practice of the learning organization**. New York: Doubleday, 2006.

SHIVA, V. **Ecologia e a política de sobrevivência**: conflitos sobre os recursos naturais na Índia. Nova Deli: Sage Publications, 1991.

SHIVA, V. **The violence of the green revolution: third world agriculture, ecology and politics**. London: Zed Books, 1991.

SILVA, I. C. **Viabilidade agroecônômica do cultivo do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) com açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) e com pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) em sistema agroflorestal na Amazônia**. 2000. 143 f. Tese

(Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

SILVA, J. G. **Economia rural**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Atlas, 2000.

SOUZA, C. Políticas públicas: uma revisão da literatura. **Sociologias**, Porto Alegre, n. 8, p. 20-45, 2004.

SOUZA, M. A. **Agroecologia**: práticas e saberes sustentáveis. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2004.

SOUZA, M. L. **Ambiente, urbanização e políticas públicas no Brasil**. São Paulo: Contexto, 2004.

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>.

SOUZA, M. N. **Degradação antrópica e procedimentos de recuperação ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v.1000. 376 p.

SOUZA, M. N. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável**. 2004. 371 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

TERBORGH, J. **Requiem for nature**. Washington, D.C.: Island Press, Shearwater Books, 1999. 235 p.

TOMAN, M. A. **Economics and sustainability**: balancing trade-offs and imperatives. Washington State University, 1992. Disponível em: <http://wsu.edu>. Acesso em: 23 maio 2025.

TREVIÑO, L. K.; NELSON, K. A. **Managing business ethics**: straight talk about how to do it right. 7th ed. Hoboken: Wiley, 2021.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2003. 248 p.

VEIGA, J. E. da. **O desenvolvimento sustentável**: o desafio do século XXI. 5. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2019.

WCED. World Commission on Environment and Development. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WEID, J. M. Políticas públicas e desenvolvimento sustentável no meio rural brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, v. 6, n. 3, p. 45-60, 1997.

WWF. World Wildlife Fund. **Áreas protegidas ou espaços ameaçados?** Relatório sobre o grau de implementação e vulnerabilidade das Unidades de Conservação Federais Brasileiras de Uso Indireto. Brasília: WWF, 1999. 11 p. (Série Técnica I).

ZACARIAS, R. **Consumo, lixo e educação ambiental: uma abordagem crítica.** Juiz de Fora: FEME, 2000. 18 p.

CAPÍTULO 3

Educação ambiental na escola: formação de valores transitando entre os espaços formais e não formais de ensino

Camila Dutra Pimenta, Flávia Muniz, Thiara Azevedo Pancotto, Aramis Cortes de Araujo Junior, Wanderson Facco Colodetti, Atanásio Alves do Amaral, Willian Moreira da Costa, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c3>

Resumo

Este trabalho propõe uma reflexão sobre a relação entre a Educação Escolar (EE) e a Educação Ambiental (EA), discutindo o papel da escola na construção de uma sociedade mais consciente e comprometida com a qualidade de vida e a sustentabilidade. A EA, ao promover a mudança de hábitos e atitudes, contribui para a preservação do meio ambiente e para o desenvolvimento de uma cidadania ativa. Acredita-se que essa transformação depende do engajamento individual e coletivo frente à degradação ambiental. O estudo considera aspectos educacionais e socioambientais relevantes para a inserção da EA no contexto escolar, valorizando princípios como cooperação, igualdade, autonomia, democracia e participação. Defende-se uma abordagem pedagógica que relacione o conteúdo curricular às vivências dos alunos, utilizando o ambiente como recurso didático e incentivando a investigação de fenômenos próximos à realidade dos estudantes com base em conceitos científicos. Assim, a escola torna-se um espaço formador de consciência crítica, estimulando, desde cedo, o uma relação horizontal, harmônica, entre animais humanos e não humanos com o meio ambiente como condição essencial para garantir o equilíbrio entre ser humano e natureza e o uso sustentável dos recursos naturais. Este estudo reafirma a necessidade de que a temática ambiental seja abordada de forma contínua e transversal em todas as etapas e disciplinas da educação escolar, promovendo uma compreensão ampla e integrada das questões socioambientais.

Palavras-chave: Cidadania. Educação. Professor. Sensibilização Ambiental. Valores Ambientais.

1. Introdução

A ação humana sobre o planeta é histórica, e o meio ambiente foi sendo gradualmente modificado com o intuito de extrair matérias-primas para suprir as necessidades e impulsionar o progresso da humanidade. Esse processo intensificou-se com a Revolução Industrial, quando as técnicas de produção e o consumo em larga escala passaram a dominar as relações entre o ser humano e a natureza. Como consequência, a exploração sistemática dos recursos naturais alterou significativamente as paisagens naturais, provocando uma série de impactos ambientais (Souza, 2025).

Segundo Loureiro (2016),

"O ser humano, para existir, precisa, continuamente, produzir seus meios de vida. Isso impõe a transformação da natureza na satisfação de necessidades materiais e simbólicas, biológicas e socialmente estabelecidas ao longo da história. Esse processo de transformação da natureza, de relação metabólica sociedade-natureza, denominado de trabalho, não só determina dialeticamente o modo como satisfazemos necessidades como o nosso próprio modo de existir como indivíduos em sociedade."

Diante desse cenário de exaustão dos recursos naturais, torna-se urgente a inserção da Educação Ambiental (EA) no contexto escolar, como uma proposta pedagógica capaz de sensibilizar os sujeitos envolvidos com o meio ambiente. A escola, por meio de seus recursos didáticos e metodológicos, possui grande potencial para fomentar conhecimentos que contribuam para mudanças de atitude e comportamento, desenvolvendo gradualmente habilidades que se transformem em hábitos sustentáveis aplicáveis ao cotidiano dos alunos (Francischetto *et al.*, 2024).

Nesse sentido, a EA se consolida como um campo necessário de formação cidadã, promovendo o desenvolvimento de sujeitos críticos e socialmente responsáveis (Colagrande, 2021). Sua presença no ambiente escolar tem raízes históricas nos anos das décadas de 1960 e 1970, período marcado por crescente preocupação com os impactos ambientais negativos resultantes do acelerado desenvolvimento industrial e urbano. A sensibilização sobre a importância de preservar o meio ambiente ganhou força nesse contexto, impulsionada por movimentos sociais e por acontecimentos significativos.

Um marco importante foi a publicação do livro *Primavera Silenciosa* (*Silent Spring*), de Rachel Carson, em 1962. A obra alertou o público sobre os perigos dos pesticidas e de outros poluentes químicos, influenciando a percepção coletiva sobre a interdependência entre saúde humana e ambiental e reforçando a necessidade de uma postura mais responsável em relação à natureza (Bonzi, 2013).

Nos anos da década de 1970, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972, foi um evento fundamental. Nela, reconheceu-se a importância da EA como instrumento fundamental para a construção de uma sociedade sustentável, em que os cidadãos participassem ativamente na resolução dos problemas ambientais (Reigota, 1997). A partir desse marco, muitos países passaram a considerar a inclusão de temas ambientais em seus currículos escolares.

Em 1975, a Unesco, em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), lançou a **Carta de Belgrado**, que estabeleceu os objetivos, metas e princípios da EA. O documento destacou a necessidade de formar uma população global consciente, bem informada sobre os problemas ambientais e motivada a atuar em sua solução (UNESCO, 1975).

Nos anos da década de 1980, observou-se a formalização mais ampla da EA nos currículos escolares de diversos países. No Brasil, a Lei nº 6.938/1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente, já contemplava a EA como um dos instrumentos para preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental.

Nos anos da década de 1990, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como **Rio-92**, reforçou ainda mais a importância da EA. A **Agenda 21**, um dos principais documentos resultantes do evento, dedicou um capítulo inteiro à reorientação da educação para a sustentabilidade. Para Reis (2021), conhecer o processo histórico de evolução da Educação Ambiental é essencial para o desenvolvimento de diálogos significativos no ambiente escolar, criando condições favoráveis à aprendizagem dos alunos.

Desde então, a EA tem se expandido e se diversificado, adotando diferentes abordagens e metodologias voltadas ao engajamento de estudantes e comunidades em questões socioambientais. Atividades interdisciplinares, práticas pedagógicas inovadoras e o uso de tecnologias educacionais têm contribuído para tornar o processo de ensino-aprendizagem mais eficaz e significativo.

Atualmente, a EA é reconhecida como componente essencial dos currículos escolares, promovendo a conscientização ecológica e preparando os jovens para se tornarem agentes de transformação em suas comunidades. Apesar dos desafios que ainda persistem em sua implantação de forma equitativa em todas as regiões, os avanços das últimas décadas demonstram um compromisso crescente com a sustentabilidade e a preservação do planeta.

2. A Educação Ambiental no contexto escolar

A EA é uma proposta que deve ser cultivada desde os primeiros anos de vida, no ambiente familiar, de modo a favorecer atitudes positivas em relação à natureza e promover uma postura crítica e reflexiva diante das questões socioambientais. Na escola, essa abordagem se fortalece por meio de projetos interdisciplinares, que integram o conteúdo à realidade dos alunos e contribuem para a construção de uma nova percepção sobre o meio ambiente, tornando-os agentes de transformação voltados à conservação ambiental (Francischetto *et al.*, 2024).

Nessa perspectiva, Colagrande (2021) afirma:

A escola não é o único caminho para a resolução de questões socioambientais, entretanto nesse espaço há condições e potencial de produção de novos conhecimentos, de modo cooperativo e transformador, para intervir nas causas dos problemas e não apenas na resolução dos seus efeitos.

Diante das crescentes demandas ambientais da sociedade contemporânea, de acordo com esse mesmo autor, a escola se configura como um espaço privilegiado para o debate e a disseminação de ideias que contribuam para o desenvolvimento de uma consciência ecológica desde a infância. Ensinar

crianças e adolescentes sobre essas questões é mais eficaz do que tentar reeducar adultos, pois os hábitos formados na infância tendem a se consolidar ao longo da vida. Dessa forma, a EA no contexto escolar contribui significativamente para a formação de cidadãos conscientes, que levam o conhecimento adquirido à família e à comunidade (Figura 1).



Figura 1. Oficinas de sensibilização em escola de primeiro grau. Fonte: Acervo de Beatriz de Moura Francischetto, 2024.

As instituições de ensino passaram, então, a incorporar a temática ambiental em seus currículos não como uma disciplina isolada, mas como um tema transversal, presente em todas as áreas do conhecimento. Essa abordagem amplia o alcance da EA e visa preparar os alunos para atuarem de forma ética e comprometida com a preservação da vida e o bem-estar coletivo. Para tanto, é essencial que a escola vá além da transmissão de conceitos teóricos, estimulando atitudes práticas e valores que promovam o respeito e a conservação do meio ambiente.

O ambiente escolar, enquanto espaço de socialização, deve proporcionar vivências que estimulem comportamentos sustentáveis. A EA precisa ser contextualizada com a realidade local dos estudantes, envolvendo tanto as questões ambientais globais quanto as problemáticas específicas da comunidade onde vivem. Nesse processo, é indispensável que os professores estejam preparados para mediar o conhecimento e acompanhar os alunos na construção de uma postura crítica e de uma consciência ambiental ampla.

De acordo com Colagrande (2021), entre todos os profissionais do contexto escolar, os professores desempenham papel central no planejamento e execução das ações de EA, sendo responsáveis por aproximar o conhecimento científico do cotidiano dos alunos. Valorizar as experiências individuais e dar voz aos estudantes é fundamental para tornar as atividades mais eficazes e significativas.

Dessa forma, os docentes devem atuar como mediadores do processo de ensino-aprendizagem, promovendo atividades que sensibilizem os alunos para atitudes sustentáveis no cotidiano escolar, como manter o ambiente limpo, evitar o desperdício de água, economizar energia, entre outras práticas. O modo de produção capitalista, o consumo exacerbado, tudo isso também deve ser trazido ao debate. Educar, nesse sentido, é também conservar o meio ambiente.

A EA surge, portanto, como resposta às limitações da educação tradicional em abordar valores éticos, responsabilidades e saberes relacionados à convivência entre seres humanos e não humanos e o planeta. O cuidado com o meio ambiente é uma questão social urgente, diretamente relacionada à sobrevivência da humanidade e à continuidade da vida, como a conhecemos, na Terra.

Segundo a UNESCO (2005), a EA constitui uma área consolidada do conhecimento, voltada à compreensão das interações entre o ser humano e o meio natural, enfatizando a necessidade de conservação, preservação e uso racional dos recursos. Incluir essa abordagem nas escolas é essencial para preparar os alunos para o exercício da cidadania ambiental, possibilitando sua participação ativa na construção de um futuro mais justo e sustentável.

3. Educação ambiental e ensino de ciências

➤ O Solo e a Importância da Educação Ambiental

Vivemos um momento de intensos conflitos ambientais em que grande parte da população desconhece a complexidade e a importância do solo como recurso natural essencial à vida. O solo é um corpo vivo, habitado por diversos organismos como vírus, bactérias, fungos e protozoários. Trata-se de um elemento fundamental para a sobrevivência dos seres vivos, pois dele obtém-se

alimentos e construímos nossas moradias. No entanto, esse recurso continua sendo desrespeitado e explorado de forma inadequada por muitos (Souza, 2025).

O processo de decomposição, que ocorre naturalmente no solo, envolve restos de animais, alimentos e folhas, transformados com o auxílio de inúmeros organismos. A matéria orgânica — composta por elementos "mortos" — é decomposta por seres como cupins, besouros, minhocas, algas, bactérias e fungos, que trituram folhas, frutos apodrecidos, troncos e carcaças, convertendo esse material em húmus. Esse húmus é essencial para o enriquecimento do solo, pois o torna mais fértil e repleto de nutrientes necessários ao crescimento das plantas.

No contexto das aulas de Ciências, é fundamental que o professor destaque desde a formação do solo até seu uso cotidiano, enfatizando que se trata de um recurso natural não renovável — ou seja, que se esgota com o tempo. Para despertar o interesse dos estudantes e diagnosticar seus conhecimentos prévios, o educador pode iniciar a aula com questionamentos, tais como:

- ✓ Vocês conhecem a composição do solo?
- ✓ Qual é a importância do solo no nosso dia a dia?
- ✓ O solo é um recurso natural renovável ou não renovável?

Essas perguntas podem servir como ponto de partida para a construção de uma sequência didática baseada na realidade dos alunos. A partir dessa avaliação diagnóstica, o professor poderá planejar suas aulas de maneira mais eficaz, adaptando os conteúdos às necessidades e aos saberes já existentes no grupo.

Uma estratégia metodológica eficaz para o trabalho com a temática do solo é a construção de hortas escolares, que proporciona aos alunos uma vivência prática e interdisciplinar (Figura 2). Essa atividade permite que os estudantes se aproximem do conteúdo de forma concreta, compreendendo a relação entre solo, plantas e sustentabilidade (Francischetto *et al.*, 2024).

De acordo com Belchior (2025), o ensino de Ciências por meio da utilização de hortas escolares é uma ferramenta didática interdisciplinar com grande potencial para enriquecer o processo de ensino e aprendizagem. Ao lidar diretamente com o solo, os estudantes alinham os conhecimentos teóricos ao fazer prático, desenvolvendo uma compreensão mais ampla sobre sua importância ecológica, social e econômica.



Figura 2. Horta escolar utilizada no estudo de ciências. Fonte: Belchior e Miranda Junior, 2025.

3.2. Formas de Trabalhar o Conteúdo "Reciclagem" nas Aulas de Ciências

➤ A Importância da Reciclagem

Abordar os temas “reciclar” e “reutilizar” objetos descartáveis nas aulas de Ciências é de grande relevância para a formação de uma consciência ambiental crítica entre os alunos. Ao tratar dessa temática, os estudantes podem ser incentivados a observar os desperdícios gerados em seu cotidiano e a realizar anotações com o objetivo de quantificar e analisar esses resíduos. A partir dessas observações, é possível promover debates e estimular a criação coletiva de ideias para reutilização ou destinação correta dos materiais descartados.

Além disso, esse trabalho pode ser ampliado para a discussão sobre como reduzir a geração de lixo nas cidades, melhorar o tratamento de resíduos em aterros sanitários, economizar recursos naturais e promover a valorização do

trabalho dos coletores de materiais recicláveis. A reciclagem contribui significativamente para a diminuição do consumo de energia, reduz a necessidade de incineradores e lixeiras, e colabora para a mitigação da poluição ambiental.

Dentro dessa proposta, o professor pode iniciar com uma aula dialogada, investigando junto aos alunos seus conhecimentos prévios sobre resíduos sólidos e as formas de destinação desses materiais. Esse levantamento inicial permite compreender a percepção da turma sobre o tema e direcionar a sequência didática de forma mais contextualizada.

Como atividade prática, pode-se propor aos alunos a coleta e a pesagem dos papéis descartados na própria sala de aula — resíduos que normalmente seriam encaminhados ao lixo comum. A partir desse material, os estudantes podem participar da produção de papel reciclado, promovendo uma vivência prática e interdisciplinar, que une conceitos de Ciências, Arte e Educação Ambiental (Figura 3).

Essa prática estimula o protagonismo estudantil, fortalece a responsabilidade socioambiental e torna o aprendizado mais significativo, ao vincular teoria e prática de forma concreta e engajada.



Figura 3. Produção de papel reciclado. Fonte: Atividades sobre Meio Ambiente para a Educação Infantil, 2025.

3.3. Trabalhando a Interdisciplinaridade na Educação Ambiental

A EA, enquanto tema integrador, pode e deve ser desenvolvida de forma interdisciplinar, articulando conhecimentos e práticas de diversas áreas do saber para abordar as questões ambientais de maneira mais eficaz e significativa. Essa abordagem favorece a construção de uma consciência crítica e ativa nos alunos, promovendo a compreensão das inter-relações entre os aspectos naturais, sociais, econômicos e culturais (Francischetto *et al.*, 2024).

Uma das formas práticas de trabalhar a interdisciplinaridade é por meio do planejamento de projetos conjuntos entre diferentes disciplinas. Por exemplo, professores de Ciências podem propor um estudo sobre a biodiversidade local, enquanto a Matemática pode colaborar na análise de dados sobre o consumo de recursos naturais ou no cálculo da pegada de carbono, como sugerido por Reigota (2017). Tais práticas permitem que os alunos compreendam os conteúdos em uma perspectiva ampliada, percebendo sua aplicação no cotidiano.

Projetos colaborativos também são fundamentais nesse processo. Ao envolver mais de uma disciplina, esses projetos permitem que os estudantes investiguem problemas ambientais sob diferentes ângulos. Um exemplo seria a realização de um estudo de caso que envolva Biologia, Geografia e Economia para investigar os impactos ambientais de uma determinada atividade produtiva. No caso da reciclagem, por exemplo, é possível analisar como uma ação individual pode se multiplicar socialmente e gerar transformações significativas quando adotada em larga escala. Essa reflexão torna o aprendizado mais crítico e abrangente (Francischetto *et al.*, 2024).

A contextualização local é outro aspecto importante. Estudar problemas ambientais específicos da comunidade escolar torna o conteúdo mais relevante e promove o engajamento dos alunos. Estudos de caso e visitas técnicas a áreas de preservação, parques ou espaços naturais possibilitam a observação direta dos fenômenos ambientais discutidos em sala de aula, consolidando a aprendizagem por meio da experiência (Figura 4).



Figura 4. Visita técnica de alunos do Mestrado em Agroecologia do Ifes campus de Alegre no sítio São Lucas, Guaçuí, ES, 2024.

Nesse sentido, a EA crítica desempenha um papel essencial. Estimular debates e discussões sobre questões ambientais atuais favorece o desenvolvimento do pensamento crítico e a capacidade analítica dos estudantes, incentivando-os a explorar diferentes perspectivas e a propor soluções criativas para os desafios ambientais contemporâneos (Loureiro, 2012).

Para que essa abordagem interdisciplinar seja bem-sucedida, é fundamental investir na formação continuada dos professores. A capacitação docente em temas ambientais e em metodologias interdisciplinares permite que os educadores se sintam preparados para integrar esses conteúdos de maneira significativa ao currículo escolar (Francischetto *et al.*, 2024).

Integrar os princípios da EA de forma interdisciplinar não apenas prepara os estudantes para enfrentar os desafios socioambientais do presente e do futuro, mas também contribui para a formação de cidadãos mais conscientes, responsáveis e comprometidos com a sustentabilidade.

4. O consumo e o desenvolvimento sustentável

Nas últimas décadas, a crescente preocupação da sociedade com os problemas ambientais e sociais tem levado à reflexão sobre os limites do modelo

capitalista de crescimento econômico. Como alternativa, surge o conceito de desenvolvimento sustentável, que busca conciliar o progresso econômico com a preservação ambiental e a promoção da qualidade de vida para as gerações atuais e futuras (Souza, 2024).

A relação entre consumo e desenvolvimento sustentável, contudo, é complexa. O consumo é essencial para o funcionamento das economias modernas, mas o consumo excessivo representa uma ameaça significativa ao equilíbrio ambiental. O desafio está em encontrar um ponto de equilíbrio em que os recursos naturais sejam utilizados de forma responsável, de modo a garantir sua disponibilidade no longo prazo.

Nesse contexto, o consumo consciente se torna uma ferramenta fundamental. Trata-se da prática de fazer escolhas de consumo mais responsáveis, levando em consideração os impactos ambientais, sociais e éticos dos produtos e serviços adquiridos. Princípios como reduzir, reutilizar e reciclar devem ser incorporados ao cotidiano de todos a fim de minimizar o desperdício e reduzir os impactos negativos ao meio ambiente. A EA e a sensibilização coletiva são peças-chave na construção de uma cultura de sustentabilidade.

As empresas também desempenham um papel estratégico na promoção do desenvolvimento sustentável. É imprescindível que adotem práticas produtivas mais limpas e eficientes, reduzam a emissão de poluentes e invistam em tecnologias que minimizem os impactos ambientais. A responsabilidade socioambiental deve ir além do objetivo do lucro, incluindo o compromisso com o bem-estar social e a conservação dos recursos naturais (Souza, 2024).

Da mesma forma, o papel do Estado é decisivo. A formulação e a implementação de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade são essenciais. Isso inclui a criação de legislações ambientais eficazes, o incentivo ao uso de fontes de energia renováveis, e o estímulo à conservação dos recursos naturais por meio de subsídios e incentivos fiscais. Tais medidas devem promover práticas sustentáveis tanto no setor produtivo quanto no cotidiano dos cidadãos.

Para que o desenvolvimento sustentável se torne uma realidade, é necessária uma mudança de atitude em todos os níveis da sociedade. O

consumo consciente e a responsabilidade ambiental devem ser pilares fundamentais de um novo paradigma de desenvolvimento. Somente por meio de ações articuladas entre indivíduos, empresas e governos será possível garantir um futuro equilibrado, em que o crescimento econômico não comprometa a saúde do planeta nem a qualidade de vida das futuras gerações (Souza Neta *et al.*, 2024).

5. Educação e potência ambiental nos dias atuais

A EA é um instrumento fundamental para a formação de uma sociedade consciente, crítica e comprometida com a sustentabilidade. Diante da crescente frequência e gravidade dos eventos ambientais — como incêndios florestais, enchentes, secas severas e diversos tipos de poluição — torna-se urgente promover a sensibilização e a ação coletiva (Francischetto *et al.*, 2024).

Incêndios florestais, como os que ocorrem na Amazônia e na Austrália, têm consequências devastadoras: destroem ecossistemas, coloca em risco a biodiversidade, liberam grandes quantidades de carbono na atmosfera e agravam a crise climática. A EA, nesse contexto, tem o papel de instruir sobre práticas de conservação florestal, manejo sustentável e prevenção de queimadas.

As enchentes, muitas vezes intensificadas pelas mudanças climáticas e pela urbanização desordenada, provocam danos materiais, perdas humanas e econômicas significativas. Por meio da EA, é possível compreender a importância das áreas verdes urbanas, de sistemas eficientes de drenagem e do planejamento sustentável do uso do solo.

Secas prolongadas também causam impactos profundos na agricultura, no abastecimento de água e na segurança alimentar, sobretudo em regiões mais vulneráveis. Práticas como o uso racional da água, a captação da água da chuva e a adoção de técnicas de irrigação sustentáveis podem ser ensinadas desde cedo como estratégias de mitigação desses efeitos (Souza, 2024).

As poluições do ar, da água e do solo continuam comprometendo a saúde humana e degradando o meio ambiente. A EA pode contribuir significativamente ao informar a população sobre os impactos dos poluentes, a necessidade da

reciclagem, a redução do uso de materiais descartáveis e a adoção de alternativas mais sustentáveis no cotidiano.

As mudanças climáticas, talvez o maior desafio global do século XXI, exigem uma compreensão ampla de suas causas, consequências e formas de enfrentamento. A promoção das energias renováveis, da eficiência energética e da redução das emissões de gases de efeito estufa são temas centrais que devem ser abordados de forma sistemática e transversal.

Para ser eficaz, a EA deve estar integrada ao currículo escolar de maneira interdisciplinar e aplicada. Atividades práticas, projetos de campo, vivências ao ar livre e parcerias com instituições ambientais tornam o processo educativo mais significativo e contextualizado. No entanto, é crucial que essa abordagem extrapole os muros da escola e alcance governos, empresas e comunidades, promovendo uma cultura de sustentabilidade em todas as esferas da sociedade (Reigota, 2017).

A EA é, portanto, uma ferramenta potente para a transformação social. Ao despertar a consciência ecológica, promove valores e atitudes essenciais para garantir que as futuras gerações possam viver em um planeta saudável e equilibrado. Por meio dela, as pessoas aprendem a preservar os recursos naturais, a reduzir impactos ambientais e a incorporar práticas sustentáveis no cotidiano (Souza Neta *et al.*, 2024).

A sustentabilidade, entendida como o uso racional dos recursos naturais de forma a atender às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprirem as suas próprias, está intrinsecamente ligada à EA. Essa relação promove uma compreensão profunda da interdependência entre os seres humanos e o meio ambiente, reforçando a necessidade de ações que visem à preservação do planeta.

Para promover efetivamente a sustentabilidade, é necessário integrar a EA de forma contínua e prática em todos os níveis de ensino. Desde a infância, as crianças devem ser incentivadas a compreender os ciclos naturais, a importância da biodiversidade e as consequências das ações humanas. Projetos escolares, hortas comunitárias, programas de reciclagem e visitas técnicas são exemplos de práticas que tornam o aprendizado mais envolvente e transformador.

A construção de uma consciência ecológica deve envolver toda a sociedade. Campanhas de sensibilização, programas de voluntariado ambiental, ações comunitárias e políticas públicas voltadas à proteção dos recursos naturais são essenciais para formar uma sociedade mais justa, solidária e ambientalmente responsável (Souza Neta *et al.*, 2024).

De acordo com essa mesma autora, a EA contemporânea deve ainda abordar temas urgentes como as mudanças climáticas, o manejo de resíduos sólidos, a gestão da água, a proteção das florestas e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis. Ao compreender os desafios atuais e explorar soluções viáveis, as pessoas tornam-se agentes de mudança capazes de construir um futuro mais equilibrado e sustentável.

6. Catástrofes e a conscientização

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento preocupante na ocorrência de catástrofes climáticas em todo o mundo, como furacões intensos, secas prolongadas, enchentes devastadoras e incêndios florestais de grandes proporções. Esses eventos extremos são amplamente atribuídos às mudanças climáticas, provocadas, em grande medida, pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa e pela contínua degradação dos ecossistemas (Souza, 2025).

Nesse contexto, a EA exerce um papel fundamental na preparação e na prevenção dessas catástrofes. Ao informar e sensibilizar as comunidades sobre as causas e os impactos das mudanças climáticas, a EA promove uma consciência coletiva voltada para a mitigação dos danos e a adaptação às novas condições ambientais. Por meio desse processo educativo, as pessoas são incentivadas a adotar práticas sustentáveis, como a redução do uso de combustíveis fósseis, a conservação dos recursos hídricos e a proteção de ecossistemas sensíveis.

A EA também contribui para o desenvolvimento da capacidade de compreender os sistemas climáticos e meteorológicos, tornando os indivíduos mais aptos a reconhecer sinais precoces de eventos extremos. Essa compreensão favorece uma resposta mais rápida e eficaz por parte da

população e das autoridades, contribuindo para a minimização de danos materiais e a proteção de vidas humanas.

No ambiente escolar, a EA deve ser integrada de forma prática e interdisciplinar ao currículo. Projetos educativos sobre resiliência climática, simulações de situações de emergência e análises de estudos de caso sobre eventos climáticos anteriores são estratégias eficazes para despertar nos estudantes a consciência sobre a gravidade da crise climática e a necessidade de preparação para os desafios futuros.

Além disso, programas comunitários de EA fortalecem o engajamento social, incentivando a participação ativa das populações locais na mitigação de impactos ambientais e na adoção de práticas sustentáveis. Workshops, campanhas de conscientização e treinamentos voltados à resposta a desastres naturais são ferramentas importantes para mobilizar as comunidades e promover a cooperação frente aos riscos climáticos.

Portanto, a EA não apenas contribui para a prevenção de catástrofes climáticas ao promover práticas sustentáveis e a redução das emissões, como também prepara a sociedade para responder de maneira adequada e coordenada diante de eventos extremos. Investir em EA é, assim, um passo essencial na construção de comunidades mais resilientes, solidárias e comprometidas com a sustentabilidade frente aos desafios globais do presente e do futuro (Souza, 2024).

7. Educação ambiental e compromisso com a mudança social

A EA desempenha um papel fundamental na promoção da conscientização e na construção de um compromisso coletivo voltado para a transformação social. Trata-se de um processo contínuo que visa ao desenvolvimento de uma população crítica, informada e engajada com a preservação do meio ambiente, com capacidade para tomar decisões responsáveis que contribuam para a melhoria das condições socioambientais (Sauvé, 2005).

Esse compromisso com a mudança social, promovido pela EA, inicia-se, frequentemente, nas escolas, onde currículos que incorporam temáticas ambientais podem inspirar os estudantes a compreender, respeitar e valorizar os

ecossistemas. Atividades como visitas a áreas naturais protegidas, projetos de reciclagem, hortas escolares e ações de conservação ambiental contribuem para solidificar esse entendimento. O papel do educador, nesse contexto, é decisivo na promoção de uma cultura de sustentabilidade, estimulando a formação de sujeitos ecológicos e cidadãos conscientes (Loureiro, 2012).

Para além do espaço escolar, a EA se estende às comunidades por meio de campanhas públicas, oficinas, rodas de conversa e eventos voltados à sensibilização sobre temas urgentes, como a crise climática, a poluição e a perda da biodiversidade. Iniciativas conduzidas por organizações não governamentais, instituições de ensino, órgãos governamentais e parcerias público-privadas são estratégias eficazes na disseminação do conhecimento ambiental e na mobilização social (Jacobi, 2003).

Importa destacar que a mudança social promovida pela EA vai além do mero acesso à informação: ela busca fomentar o engajamento e a ação coletiva. Projetos comunitários como reflorestamentos participativos, hortas urbanas, mutirões de limpeza e gestão compartilhada de espaços públicos são exemplos de práticas transformadoras que resultam da articulação entre educação e cidadania. Essas ações contribuem não apenas para a melhoria ambiental local, mas também para o fortalecimento dos vínculos sociais e da democracia participativa (Carvalho, 2004).

Além disso, a EA estimula uma visão crítica sobre os modelos de produção e consumo vigentes, promovendo a reflexão ética sobre o impacto das escolhas individuais e coletivas no meio ambiente. A compreensão das consequências socioambientais de hábitos cotidianos pode incentivar práticas mais sustentáveis, como a redução do consumo de plástico, a preferência por alimentos orgânicos e de base agroecológica, e o uso de transportes menos poluentes (Leff, 2001).

Em uma escala mais ampla, a EA contribui para a formação de uma sociedade capaz de reconhecer a interdependência entre os seres humanos e a natureza. Esse reconhecimento é essencial para a formulação e implementação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade, tais como o uso racional dos recursos naturais, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa e a promoção de fontes renováveis de energia (Capra, 1996).

Para alcançar esses objetivos, a EA precisa ser entendida como um compromisso contínuo, integrador e multifacetado, que extrapola os limites da sala de aula e exige a participação ativa de todos os setores da sociedade. Ao capacitar indivíduos e coletividades com conhecimento, sensibilidade e ferramentas para agir, a EA se consolida como um agente catalisador de mudanças indispensáveis à construção de um futuro sustentável para as próximas gerações (Figura 5).



Figura 5. Visita técnica de alunos do Mestrado em Agroecologia do Ifes campus de Alegre no sítio Jaqueira Agroecologia, Alegre, ES, 2024.

8. Contribuições da Educação Ambiental no contexto escolar: uma proposta pedagógica a ser realizada em espaço não formal

A EA, quando implantada de forma prática, interdisciplinar e colaborativa, tem proporcionado impactos significativos no ambiente escolar, que representa um espaço formal de ensino e aprendizagem. No entanto, os limites físicos da escola não devem restringir o alcance da EA. Ao contrário, é essencial expandir as práticas pedagógicas para além dos muros escolares, incorporando espaços não formais e informais como aliados fundamentais no processo educativo (Dias, 2004).

Espaços não formais de educação — como parques ecológicos, unidades de conservação, hortas comunitárias, viveiros de mudas, museus de ciência, centros culturais, associações comunitárias e feiras ambientais — oferecem

contextos ricos para o desenvolvimento de atividades educativas que promovem uma vivência concreta dos conteúdos teóricos trabalhados em sala de aula. Essas experiências favorecem a aprendizagem significativa, despertam o interesse dos estudantes e promovem uma conexão afetiva com o meio ambiente (Sato, 2002) (Figura 6).



Figura 6. Trilhas do Polo de Educação Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes). Fonte: Autores, 2025.

A proposta pedagógica voltada para o uso de espaços não formais deve considerar a participação ativa dos alunos, a valorização dos saberes locais e a construção coletiva do conhecimento. Atividades como trilhas interpretativas, oficinas de compostagem, observação da fauna e flora nativas, coleta de resíduos recicláveis, plantio de espécies nativas ou a visita a cooperativas de reciclagem podem integrar diferentes áreas do conhecimento — como ciências, geografia, matemática, arte e língua portuguesa — em uma abordagem interdisciplinar e contextualizada (Guimarães, 2000).

Além disso, os espaços não formais ampliam as possibilidades de construção da cidadania ambiental, pois permitem a inserção das famílias e da comunidade local nos processos educativos. Assim, a escola passa a atuar como um polo articulador de saberes e ações voltadas à sustentabilidade, promovendo uma EA crítica, emancipatória e transformadora (Loureiro, 2012).

A utilização de ambientes não formais como estratégia didática reforça o papel da EA como instrumento de sensibilização e de engajamento, proporcionando aos educandos uma compreensão mais profunda e prática das interações socioambientais. Dessa forma, contribui para o fortalecimento da consciência ecológica e para a formação de sujeitos capazes de atuar de maneira ética e responsável diante dos desafios ambientais contemporâneos.

Neste contexto, a proposta de uma sequência didática que transita do espaço formal para o espaço não formal de educação incorpora os princípios da Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), especialmente no que se refere às ações e práticas educativas voltadas à sensibilização sobre as questões ambientais (BRASIL, 1999).

Segundo Marques (2024, p. 10):

“Em congruência com as determinações da PNEA, durante a última década, ocorreu uma ampliação na percepção acerca das oportunidades de promoção dos processos de ensino-aprendizagem em espaços educativos não formais e na maneira como essa aprendizagem se concretiza. De fato, contextos sociais únicos favorecem trocas únicas de conhecimento sociocultural entre indivíduos e o meio em que estão inseridos, evidenciando a especificidade das motivações que conduzem o aprendizado em meio às práticas de Educação Ambiental e Educação não formal.”

Dessa forma, torna-se pertinente apresentar o Polo de Educação Ambiental da Mata Atlântica (PEAMA-Ifes), a partir da leitura da obra *Desbravando o Caparaó Capixaba: propostas pedagógicas de Educação Ambiental e ensino de humanidades* (Pinto *et al.*, 2024). No capítulo intitulado *Polo de Educação Ambiental da Mata Atlântica (PEAMA/Ifes – Campus Alegre): explorando possibilidades educativas nas trilhas da Mata Atlântica*, os autores destacam as

potencialidades desse espaço educativo, com ênfase nas trilhas interpretativas (Figura 7), bem como nas práticas pedagógicas em EA desenvolvidas no local.



Figura 7. Trilhas interpretativas do Polo de Educação Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) campus de Alegre. Fonte: PEAMA, 2025.

A área de estudo é descrita no capítulo pelos autores com destaque para sua localização e principais atividades desenvolvidas: o Polo de Educação Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) – Campus de Alegre, referido como PEAMA/Ifes – Campus de Alegre, possui uma área total de 333 hectares, dos quais 76 hectares correspondem à Reserva Florestal. Suas atividades são voltadas para proprietários rurais, filhos de agricultores, professores e alunos das redes federal, estadual e municipal de ensino, bem como para a comunidade em geral. As ações realizadas abrangem a promoção da EA, a recuperação de matas ciliares ao longo do rio Itapemirim, a proteção e restauração de nascentes, a regeneração de capoeiras e áreas degradadas, além da produção de mudas de espécies nativas, exóticas e ornamentais (Del Pupo *et al.*, 2024).

O PEAMA oferece ao público mencionado uma ampla gama de atividades, tais como: trilhas interpretativas e noturnas; passeios ecológicos; apoio a atividades didático-pedagógicas; cursos e oficinas de capacitação em EA e

áreas afins; suporte a projetos de pesquisa; conservação e manejo de recursos naturais; bem como apoio a programas e projetos de extensão voltados à EA e ao desenvolvimento regional sustentável (PEAMA, 2025) (Figura 8).



Figura 8. Alunos do mestrado do PPGA realizando trilha do Polo de Educação Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes). Fonte: Autores, 2025.

No que se refere à EA e às práticas educativas, os autores propõem uma sequência didática que parte de um espaço formal — a escola — e se estende a um espaço não formal — o PEAMA —, tendo como público-alvo os alunos do 7º ano do Ensino Fundamental II (Del Pupo *et al.*, 2024). A proposta está alinhada às orientações curriculares do *Currículo do Estado do Espírito Santo* para os anos finais do Ensino Fundamental II, especificamente na área de Ciências da Natureza, no componente curricular de Ciências (ESPÍRITO SANTO, 2018).

Nesse contexto, a sequência didática é compreendida como um conjunto de atividades interligadas, planejadas de forma progressiva, com o intuito de

atingir objetivos educacionais específicos. Segundo Del Pupo *et al.* (2024), a proposta é apresentada no Quadro 1, que expõe uma sequência didática realizada nas trilhas da Mata Atlântica, explorando as potencialidades educativas do PEAMA.

Quadro 1. Sequência didática

SEQUÊNCIA DIDÁTICA - SD NAS TRILHAS DA MATA ATLÂNTICA: EXPLORANDO POSSIBILIDADES NO/COM PEAMA		
ETAPA	AULAS	ATIVIDADES
PROBLEMATIZAÇÃO	1ª e 2ª	O bioma Mata Atlântica (Brasil e ES); vídeos, material impresso e pesquisas.
CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO	3ª aula + visita ao Peama	O Peama: conhecendo o espaço e suas potencialidades; fotos, vídeos, história, localização e visitação.
O SABER EM PRÁTICA	4ª, 5ª, 6ª, 7ª, 8ª, 9ª	Planejamento de atividades; roda de conversa: relatos da experiência; exposição fotográfica.

Fonte: Del Pupo *et al.*, 2024.

As orientações curriculares destinadas aos alunos do 7º ano do Ensino Fundamental II apresentam como objetos de conhecimento os ecossistemas brasileiros, os fenômenos naturais, os impactos ambientais, os programas e os indicadores de saúde pública, tendo como eixo integrador a Educação Ambiental (ESPÍRITO SANTO, 2018). Ao ser inserido como tema integrador, a EA possibilita aos estudantes o diálogo sobre questões ambientais relevantes, promovendo o desenvolvimento de habilidades e competências gerais — em especial aquelas relacionadas a temáticas contemporâneas, como o Bioma Mata Atlântica.

Nesse sentido, a visita ao PEAMA, localizado nesse bioma, representa uma oportunidade concreta de alinhamento entre teoria e prática. Essa vivência pedagógica permite que os alunos transitem do espaço formal da escola ao espaço não formal do PEAMA, enriquecendo significativamente o processo de ensino-aprendizagem.

Como destaca Tristão (2004), a EA constitui uma rede de saberes que incorpora diferentes contextos educativos, promovendo a formação crítica, reflexiva e sensível dos sujeitos. Assim, experiências como a visita ao PEAMA ampliam as possibilidades educativas, fortalecendo a conexão dos estudantes com o meio ambiente e com os desafios da sustentabilidade.

9. Considerações

A Educação Ambiental (EA) constitui um pilar essencial para a formação de cidadãos conscientes, críticos e comprometidos com a sustentabilidade. Este estudo reafirma a necessidade de que a temática ambiental seja abordada de forma contínua e transversal em todas as etapas e disciplinas da educação escolar, promovendo uma compreensão ampla e integrada das questões socioambientais.

A EA, quando trabalhada como uma abordagem interdisciplinar e prática, tem o potencial de transformar a escola em um espaço de mobilização social. Projetos como hortas escolares, programas de reciclagem e campanhas de conscientização não apenas ensinam conteúdos, mas fomentam valores de responsabilidade socioambiental. Ao envolver alunos, professores, famílias e a comunidade, tais ações ampliam o alcance da educação e fortalecem vínculos com o território.

A trajetória da EA, desde os marcos internacionais — como a Conferência de Estocolmo, a Carta de Belgrado e a Agenda 21 — até as políticas públicas brasileiras, demonstra sua crescente relevância diante dos desafios ambientais contemporâneos. No Brasil, a consolidação da EA como diretriz educativa e legal, sobretudo a partir da década de 1980, representa um avanço importante para a promoção do desenvolvimento sustentável.

Integrar a EA à Educação Escolar (EE) desde os anos iniciais é fundamental para consolidar atitudes e comportamentos sustentáveis de forma duradoura. As crianças, ao internalizarem esses valores, tornam-se multiplicadoras em seus lares e comunidades, fortalecendo uma cultura de cuidado com o meio ambiente.

Em síntese, a EA deve ser compreendida como uma estratégia transformadora, que vai além do ensino de conteúdos ambientais. Trata-se de formar sujeitos capazes de enfrentar as crises ecológicas com conhecimento, empatia e ação. Assim, ao investir em uma educação ambiental crítica e participativa, estamos também investindo na construção de um futuro mais justo, equilibrado e resiliente para todos.

10. Referências

Atividades sobre meio ambiente para educação infantil. **Atividades Educação Infantil**. Disponível em: <https://www.atividadeseducacaoinfantil.com.br/ecologia/atividades-sobre-meio-ambiente-para-educacao-infantil/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

BELCHIOR, E. J.; MIRANDA J, P. Ensino de ciências por investigação: o uso da horta escolar na promoção da alfabetização científica. **Revista DELOS**, v. 18, n. 64, p. 01-16, 2025. Disponível em: Vista do Ensino de ciências por investigação: o uso da horta escolar na promoção da alfabetização científica | REVISTA DELOS. Acesso em: 19 abr. 2025.

BONZI, R. S. **Meio século de Primavera silenciosa: um livro que mudou o mundo. *Desenvolvimento e Meio Ambiente***, n. 28, p. 207-215, jul./dez. 2013. Editora UFPR. Disponível em: www.researchgate.net/publication/274171203_Meio_Seculo_de_Primavera_silenciosa_um_livro_que_mudou_o_mundo/link/5687524f08ae1e63f1f5ba47/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uln19. Acesso em: 17 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Educação Ambiental**. Brasília: MMA, 1999. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 17 jul. 2025.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix, 1996.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Melhoramentos, 1962. 310 p.

CARVALHO, I. C. de M. **Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico**. São Paulo: Cortez, 2004.

COLAGRANDE, E. A.; FARIAS, L. A. Apresentação – **Educação Ambiental e o contexto escolar brasileiro: desafios presentes, reflexões permanentes. *Educar em Revista***, Curitiba, v. 37, e81232, 2021. Disponível em: www.scielo.br/j/er/a/Yrs9h4KZCkS9KlKrktdDQwHS/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 08 abr. 2025.

DEL PUPO, A. P. O.; BARRETO, L. R.; MILANESI, M. A. B.; PESSALI, V. d. S. **Polo de educação ambiental da mata atlântica (PEAMA/IFES – Campus Alegre): explorando possibilidades educativas nas trilhas da Mata Atlântica.** In: PINTO, S. L.; CUSTE, E. F. K.; ARAÚJO J., A. C. de (Org.). **Desbravando o Caparaó Capixaba: propostas pedagógicas de Educação Ambiental e ensino de humanidades.** São Paulo: Pimenta Cultural, 2024. p. 57-79. Disponível em: www.pimentacultural.com/wp-content/uploads/2024/07/eBook_Desbravando-Caparao.pdf. Acesso em: 17 jul. 2025.

DIAS, G. F. **Educação ambiental: princípios e práticas.** 10. ed. São Paulo: Gaia, 2004.

DIAS, G. F. **Educação Ambiental: princípios e práticas.** São Paulo: Gaia, 1992. 224 p.

ESPÍRITO SANTO. **Currículo do Espírito Santo.** Secretaria de Educação. Área de conhecimento: Ciências. Componente curricular – Ciências da natureza. Vitória: SEDU, 2018. Disponível em: [www.curriculo.sedu.es.gov.br/curriculo/orientacoes curriculares/](http://www.curriculo.sedu.es.gov.br/curriculo/orientacoes_curriculares/). Acesso em: 17 jul. 2025.

FONSECA, V. M. da. **A educação ambiental na escola pública: interlaçando saberes, unificando conteúdos.** São Paulo: Biblioteca 24 horas, 2009.

FRANCISCHETTO, B. de M.; SOUZA, M. N.; PELUZIO, T. M. O.; OLIVEIRA, C. H. R.; SOUZA NETA, Q. F.; BIGHI, A. R. In: SOUZA, M. N. (Org.). **Horta pedagógica como estratégia de educação ambiental. Tópicos em gestão ambiental.** Vol. III. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 138-163. ISBN: 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5.c4>

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido.** 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987. 184 p.

GUILHERME, M. L. **Sustentabilidade sob a ótica global e local.** São Paulo: Annablume: FAPESP, 2007.

GUIMARÃES, M. **A formação de educadores ambientais.** Campinas, São Paulo: Papirus, 2004.

GUIMARÃES, M. Educação ambiental: caminhos trilhados no Brasil. In: LOUREIRO, C. F. B. *et al.* (Org.). **Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania.** São Paulo: Cortez, 2000. p. 63-80.

JACOBI, P. R. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa,** São Paulo, n. 118, p. 189-204, 2003.

LANFREDI, G. F. **Política ambiental – Busca da efetividade de seus instrumentos.** São Paulo: Revista dos Tribunais, 2002.

LEFF, E. **Epistemologia ambiental.** São Paulo: Cortez, 2001.

LOUREIRO, C. F. B. **Educação ambiental e movimentos sociais: a prática educativa do MST.** São Paulo: Cortez, 2012.

LOUREIRO, C. F. B. **O dito e o não dito na década da educação para o desenvolvimento sustentável promovida pela UNESCO.** *Pesquisa em Educação Ambiental*, vol. 11, n. 2, p. 58-71, 2016. Disponível em: www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/pesquisa/article/view/11961/7904. Acesso em: 08 abr. 2025.

LOUREIRO, C. F. B. **Educação ambiental crítica: contribuições para a construção de uma pedagogia do sujeito ecológico.** 2. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

PEAMA. Instituto Federal do Espírito Santo, 2025. **Educação ambiental.** Disponível em: www.peamaifes.wixsite.com/peama/atividades. Acesso em: 17 jul. 2025.

PINTO, S. L.; CUSTE, E. F. K.; ARAÚJO J., A. C. de (Org.). **Desbravando o Caparaó Capixaba: propostas pedagógicas de Educação Ambiental e ensino de humanidades.** São Paulo: Pimenta Cultural, 2024.

REIGOTA, M. **O que é educação ambiental.** Brasiliense, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptPT&lr=&id=gmgvDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=E+problemas+ambientais+pelo+ser+humano&ots=4hsvjic86a&sig=FdOIBglRdfKZxuSWeSkbtZNRbZU#v=onepage&q=E%20problemas%20ambientais%20elo%20ser%20humano&f=false>. Acesso em: 22 set. 2022.

REIS, F. H. C. S.; MOURA, A. R. L. de; CABRAL, W. R.; MIRANDA, R. de C. M. **A Educação Ambiental no contexto escolar brasileiro.** *Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA)*, v. 16, n. 6, p. 69-82, 2021. Disponível em: www.doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.11706. Acesso em: 02 abr. 2025.

ROCHA L., C. da. **Sustentabilidade XXI: Educar e inovar sob uma nova consciência.** São Paulo: Editora Gente, 2009.

SATO, M. Educação ambiental: problematizações sobre a prática pedagógica. *Revista Brasileira de Educação*, v. 19, p. 67-78, 2002.

SATO, M.; CARVALHO, I. **Educação ambiental.** [recurso eletrônico]: pesquisa e desafios. Porto Alegre: Artmed, 2008.

SAUVÉ, L. Educação ambiental: possibilidades e limitações. *Revista Brasileira de Educação*, v. 10, n. 29, p. 7-24, jan./abr. 2005.

SIRVINSKAS, L. P. **Manual de direito ambiental.** 2. ed. rev. atual e ampl. São Paulo: Saraiva, 2003.

SOARES, G. F. S. **A proteção internacional do meio ambiente.** Barueri, SP: Manole, 2003.

SOUZA NETA, Q. F. de; SOUZA, M. N.; OLIVEIRA, C. H. R.; PEREIRA, I. M. C.; FRANCISCHETTO, B. de M.; BIGHI, A. R. In: SOUZA, M. N. (Org.). Educação ambiental como ferramenta de ensino da agroecologia e sustentabilidade. **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. III. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 164-183. **ISBN:** 978-65-84548-27-5. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-27-5.c5>

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>.

TAMAIIO, I. **O professor na construção do conceito de natureza: uma experiência de educação ambiental**. São Paulo: Annablumme, WWF, 2002.

TRISTÃO, M. **A educação ambiental na formação dos professores: redes de saberes**. São Paulo: Annablume; Vitória: Facitec, 2004.

UNESCO. (2005). "**Educação para o Desenvolvimento Sustentável – Dez Anos para Mudar o Mundo**". Esse documento foi lançado no contexto da "Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (2005–2014)" proclamada pela ONU e liderada pela UNESCO. Disponível em: www.unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000139937_por. Acesso em: 17 jul. 2025.

UNESCO; PNUMA. **Carta de Belgrado: um quadro geral para a educação ambiental**. Belgrado, 1975.

CAPÍTULO 4

Estratégias de recuperação ambiental em solos contaminados por agroquímicos e metais pesados: técnicas de engenharia e fitorremediação

Maurício Novaes Souza, Naianni de Sillis Rezende, Atanásio Alves do Amaral, Oseas de Almeida Lima, Esteffany Pereira da Silva, Daniel Schwan Monteiro de Sousa, Larissa Viana Bruneli

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c4>

Resumo

O crescimento populacional e a consequente intensificação da agricultura têm levado ao uso massivo de agrotóxicos e à contaminação de solos por metais pesados, seja pelo uso direto de insumos ou pela atividade industrial e minerária. Esses contaminantes impactam negativamente a biodiversidade, os ecossistemas e a saúde humana, representando um dos maiores desafios ambientais da atualidade. No solo, parte dos compostos é degradada por microrganismos, enquanto outra fração é retida por matéria orgânica e argilas, podendo ser remobilizada por processos como lixiviação e erosão. Já os metais pesados, por sua natureza persistente e tóxica, tendem a se acumular, dificultando ainda mais a recuperação ambiental. A poluição hídrica associada à contaminação do solo agrava os impactos sobre a cadeia alimentar, por meio da bioacumulação. Diante desse cenário, estratégias de recuperação ambiental tornam-se fundamentais. Práticas como a fitorremediação, a biorremediação, o uso de microrganismos eficientes, a adição de corretivos orgânicos e minerais, e a revegetação com espécies adaptadas são alternativas promissoras. Apesar dos avanços científicos, ainda são escassos os estudos voltados especificamente à remediação de áreas contaminadas, o que demanda investimentos em pesquisa aplicada e políticas públicas voltadas à recuperação de ambientes degradados.

Palavras-chave: Contaminação ambiental. Poluição hídrica. Biodegradação. Sistemas agroecológicos. Práticas conservacionistas. Sustentabilidade agrícola.

1. Introdução

No Brasil, até recentemente, não havia consenso quanto à terminologia para designar substâncias utilizadas no controle de pragas na agricultura. A partir de 1989, com a promulgação da Lei nº 7.802/89 e do Decreto nº 98.816/90, foi oficialmente adotado o termo agrotóxico, definido como qualquer substância química, natural ou sintética, destinada a combater organismos considerados nocivos às plantas, aos animais e ao ser humano (Musumeci, 1992).

No que se refere aos fertilizantes, o Decreto nº 86.955/82 os define como substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, responsáveis pelo fornecimento de nutrientes às plantas. Eles são classificados em seis categorias principais: fertilizantes simples, mistos, orgânicos, organominerais, compostos e complexos (Guerra; Sampaio, 1988; Silva; Souza, 2021).

O uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes, especialmente em áreas com elevada pluviosidade, favorece processos de lixiviação, escoamento superficial e erosão, resultando em perdas de insumos agrícolas, baixa eficiência produtiva e significativos impactos ambientais. Inicialmente, os impactos são de natureza física, como o desmatamento; em seguida, manifestam-se impactos químicos, como a eutrofização dos corpos d'água. A irrigação com água contaminada por metais pesados também representa um fator de risco, principalmente quando associada a solos degradados, ampliando a transferência de nutrientes e metais tóxicos aos recursos hídricos (Souza, 2004; Gonçalves *et al.*, 2020; Souza, 2025).

Tais práticas comprometem a qualidade da água, alterando seu estado trófico, contaminando o lençol freático e gerando efeitos deletérios à biota aquática. Além disso, os metais pesados podem ser reincorporados à cadeia alimentar, atingindo os seres humanos, com consequências graves à saúde pública. Estudos apontam que, em regiões de intensa atividade agropecuária, silvicultural e industrial, as alterações antrópicas na paisagem e o uso de insumos químicos têm comprometido a qualidade da água. Cobre e zinco, por exemplo, apresentam concentrações acima dos limites aceitáveis em nascentes, podendo causar toxicidade crônica em organismos aquáticos (Brigante *et al.*, 2003c; 2003d; FAO, 2022).

Esse cenário evidencia a insustentabilidade do modelo agroquímico em longo prazo. Assim, torna-se imprescindível avaliar os avanços nas pesquisas voltadas à recuperação de áreas contaminadas, propor estratégias de remediação eficazes e identificar os principais equívocos associados à lógica produtiva baseada em insumos químicos (FAO, 2022). Os objetivos desse capítulo são:

- ✓ Avaliar o estágio atual das pesquisas sobre contaminação por agrotóxicos e metais pesados;
- ✓ Sugerir procedimentos de remediação e recuperação ambiental de áreas degradadas;
- ✓ Identificar os principais desvios nos procedimentos adotados pelo modelo agroquímico convencional.

2. A necessidade de recuperação e sua caracterização

Em determinadas situações, a poluição atinge níveis críticos que demandam o desenvolvimento e a aplicação de técnicas de descontaminação ambiental. A escolha do método mais adequado dependerá de diversos fatores, entre eles (Gonçalves *et al.*, 2020; Silva; Souza, 2021):

- ✓ As exigências legais quanto aos limites aceitáveis de contaminação;
- ✓ A disponibilidade de recursos técnicos e financeiros;
- ✓ A localização geográfica da área afetada; e
- ✓ O risco de dispersão da contaminação para áreas adjacentes, o que pode intensificar os impactos ambientais e os efeitos relacionados à biomagnificação ao longo da cadeia trófica.

Os metais pesados (MP) são tradicionalmente definidos como elementos com peso específico superior a 5 g cm^{-3} ou número atômico maior que 20 (Malavolta, 1994). Ainda que a terminologia “metais pesados” possa ser considerada imprecisa, é amplamente utilizada para englobar metais, semimetais e até mesmo alguns não metais, como o selênio (Se), cuja densidade

é inferior a 5 g cm^{-3} , mas que apresenta comportamento tóxico e poluente semelhante ao dos metais (King, 1996; Bastos; Freitas, 1999).

Esses elementos, quando presentes em concentrações acima dos níveis naturais, são considerados poluentes do solo, da água, do ar, dos alimentos e das forragens. Os principais metais pesados frequentemente encontrados no ambiente incluem: cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn), cobalto (Co), níquel (Ni), vanádio (V), alumínio (Al), prata (Ag), cádmio (Cd), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb) (Figura 1).

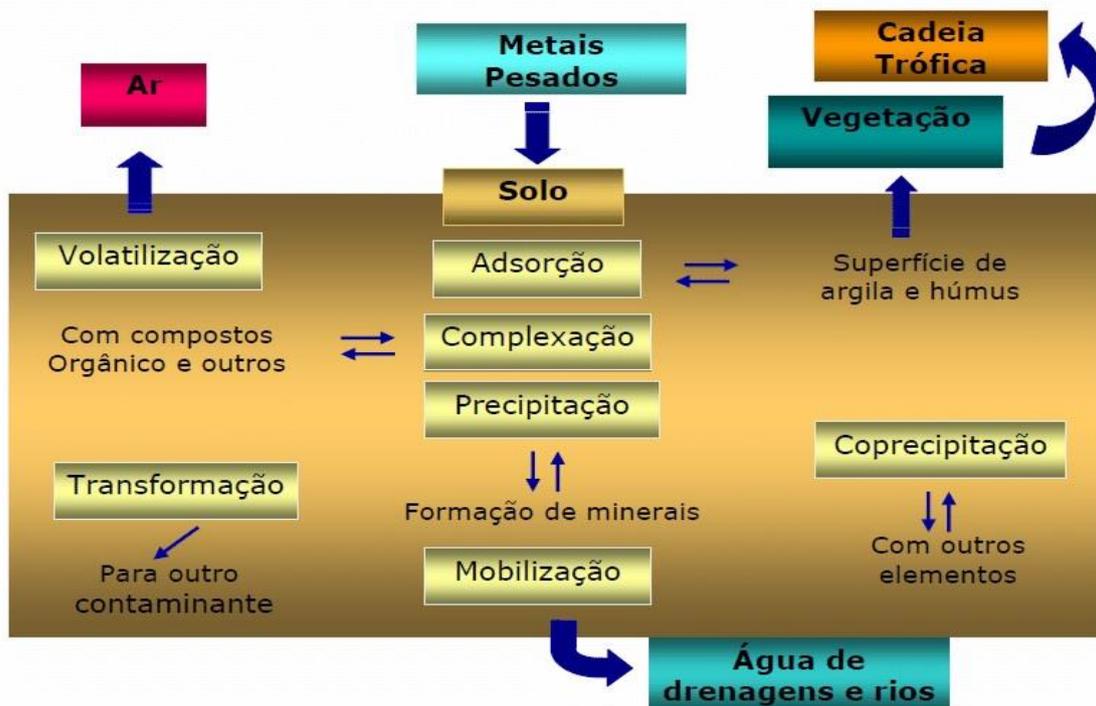


Figura 1. Dinâmica de metais-traço do solo. Adaptado de ANTA (1996), *apud* Garcia e Dorronsoro (2010). Fonte: <https://mundoergonomia.com.br/>.

Importa destacar que a presença desses elementos nas plantas não é, por si só, indicativo de contaminação. Muitos deles, como Cu, Fe, Mn, Zn e Mo, são micronutrientes essenciais ao metabolismo vegetal e animal. Nesse sentido, uma generalização que relacione automaticamente a presença de metais pesados à poluição pode ser inadequada. O termo “elementos-traço” pode, em alguns casos, ser mais apropriado, dado que descreve tanto micronutrientes essenciais quanto elementos potencialmente tóxicos em concentrações

elevadas (Malavolta, 1994; Bastos; Freitas, 1999; Malavolta, 2006; Alves *et al.*, 2023).

A toxicidade desses metais varia entre os elementos. A ordem decrescente de toxicidade geralmente aceita é: Hg > Ag > Cu > Cd > Zn > Pb > Cr > Ni > Co, entre outros. Essa classificação tem implicações diretas sobre os riscos ecológicos e sobre os métodos de remediação a serem adotados (Malavolta, 2006).

Os cursos d'água frequentemente recebem contaminantes oriundos da atividade agropecuária, sobretudo por meio da erosão, do escoamento superficial e da infiltração de substâncias como herbicidas, fungicidas, inseticidas, fertilizantes e corretivos de solo. O Quadro 1 sistematiza as principais fontes naturais e antropogênicas de adição de metais pesados ao meio ambiente, evidenciando o papel das práticas agrícolas intensivas como vetor de contaminação.

Quadro 1. Fontes naturais e antropogênicas de alguns metais pesados para o ambiente

Elemento	Natural	Antropogênica
Cd	Minérios de Zn e Pb; rocha fosfática	Resíduos de mineração, galvanoplastia; indústria de pilhas
Cr	Mineral cromita; solos de serpentina	Galvanoplastia; ligas metálicas; esgoto industrial; produtos anticorrosivos
Cu	Sulfetos; óxidos; carbonatos	Galvanoplastia; ligas metálicas; esgoto doméstico e industrial; resíduos de mineração; defensivos agrícolas
Pb	Mineral galena	Indústria de baterias; encanamento; carvão; gasolina; pigmentos
Hg	Mineral cinábrio	Resíduo industrial e de mineração; carvão; defensivos
Ni	Minerais diversos; solos de serpentina	Ligas metálicas; indústria de baterias; resíduo industrial; produção de óleos vegetais (catalisada)
Zn	Minerais (sulfetos, óxidos, silicatos)	Ligas metálicas; pigmentos; galvanoplastia; resíduo industrial; encanamentos.

Fonte: Mattiazzo *et al.* (1992) adaptado por Malavolta (1994).

A determinação dos níveis de tolerância para metais pesados no solo pode variar em função de diferentes fatores, como as características edafoclimáticas locais (tipo de solo, pH, textura, teor de matéria orgânica, entre outros), além do nível de rigor da legislação ambiental vigente, que difere entre países e até entre estados dentro de um mesmo país.

Por exemplo, os limites máximos de cádmio (Cd) acumulado por hectare variam significativamente entre nações: Estados Unidos – 39 kg/ha; Alemanha – 6 kg/ha; Inglaterra – 10 kg/ha; Canadá – 1,6 kg/ha (King, 1996).

Como prática geral, os limites considerados para efeito de fitotoxicidade são baseados nos teores totais dos metais no solo, e não necessariamente nos teores biodisponíveis. No entanto, essa abordagem tem sido criticada por desconsiderar a fração efetivamente absorvível pelas plantas, o que pode superestimar ou subestimar os riscos reais de contaminação (Silva *et al.*, 2020; Almeida; Nascimento, 2018) (Figura 2).

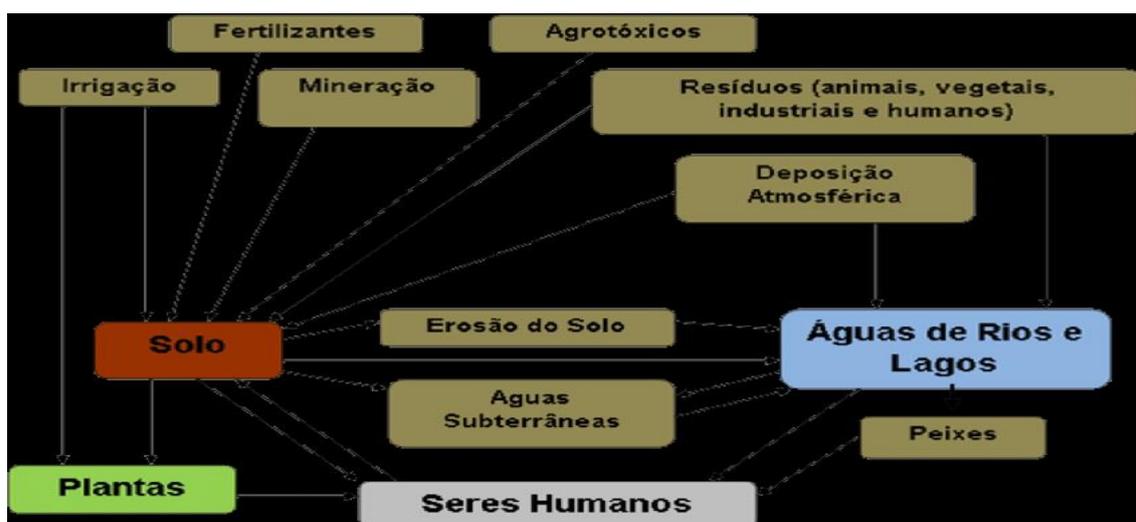


Figura 2. Diferentes vias de exposição dos metais-traço ao homem indicando as principais fontes de adição no meio ambiente. Fonte: Acervo de Camila Aparecida, 2022.

A tendência atual, segundo autores como Kabata-Pendias (2011), é a adoção de critérios mais regionais e ajustados à realidade agrônômica e ambiental, visando maior precisão nas avaliações de risco e nos programas de remediação. Além disso, normativas brasileiras, como a Resolução CONAMA nº 420/2009, estabelecem valores orientadores de qualidade do solo para diversos metais

pesados, considerando o tipo de uso do solo (agrícola, residencial, industrial) e o risco à saúde humana e ao meio ambiente (Quadro 2).

Quadro 2. Concentrações totais de elementos consideradas excessivas do ponto de vista de fitotoxicidez

Elementos	Teores (mg/dm ³)	Elementos	Teores (mg/dm ³)
Ag	2	Hg	0,3-5
As	15-50	Mn	1500-3000
B	25-100	Mo	2-10
Be	10	Ni	100
Br	10-20	Pb	100-400
Cd	3-8	Zn	70-400
Co	25-50	Se	5-10
Cr	75-100	Sn	50
Cu	60-125	Ti	1
F	200-1000	V	50-100

Fonte: Kabata-Pendias e Pendias, 1985.

A mobilidade dos metais pesados (MP) em ambientes contaminados é altamente variável e depende de diversos fatores, incluindo: a) a natureza e forma química dos elementos presentes; e b) as propriedades físico-químicas e biológicas do solo (Korcak; Fanning, 1985).

De acordo com esses mesmos autores, cátions como Zn²⁺, Cu²⁺, Pb²⁺ e Cd²⁺ são geralmente bem hidratados e apresentam elevada solubilidade em solos, especialmente sob condições de acidez e boa drenagem. Nestes ambientes, sua mobilidade relativa pode aumentar significativamente, elevando o risco de lixiviação e contaminação de águas subterrâneas.

Diversas características edáficas influenciam a dinâmica dos MP no solo, sendo as principais (Korcak; Fanning, 1985; Simão; Siqueira, 2001):

- ✓ pH do solo, que afeta a solubilidade e adsorção dos íons metálicos;
- ✓ Potencial redox, determinante na estabilidade química dos metais;
- ✓ Textura, com solos mais arenosos tendendo a reter menos contaminantes;
- ✓ Composição mineral, especialmente presença de argilas e óxidos de ferro e alumínio;
- ✓ Capacidade de troca de cátions (CTC);
- ✓ Teor e qualidade da matéria orgânica, que pode atuar como agente quelante;
- ✓ Competição por sítios de adsorção e complexação com outros cátions ou moléculas orgânicas;
- ✓ Propriedades específicas de cada metal, como raio iônico e energia de hidratação.

Dessa forma, em solos com maior teor de argila, óxidos metálicos e matéria orgânica, os metais pesados tendem a ser mais fortemente retidos por processos sortivos e, conseqüentemente, se tornam menos biodisponíveis para absorção radicular. Em contraste, solos arenosos com baixa CTC apresentam maior risco de mobilidade e disponibilidade desses elementos.

Estudos recentes confirmam essa tendência e enfatizam a importância da avaliação integrada dos atributos do solo na definição de estratégias de remediação e monitoramento ambiental (Moreira *et al.*, 2021; Gonçalves; Lima; Ferreira, 2019). A compreensão dessas inter-relações é essencial para mitigar os riscos de poluição difusa e garantir a segurança ambiental e alimentar.

4. Práticas de remediação/recuperação de áreas contaminadas por metais pesados

Qualquer elemento presente em níveis elevados pode tornar-se tóxico para plantas, animais e seres humanos. A toxidez, nesse contexto, refere-se à manifestação de anormalidades fisiológicas ou morfológicas, resultantes da

absorção excessiva de um elemento, seja ele essencial, benéfico ou não essencial (Malavolta, 1994).

A caracterização da toxidez de um elemento químico deve ser baseada em três principais variáveis:

- ✓ Redução do crescimento vegetal ou de produtividade das culturas;
- ✓ Presença de sintomas visíveis de toxidez, tais como necroses, cloroses ou deformações foliares;
- ✓ Acúmulo do elemento em concentrações elevadas nos tecidos das plantas.

É importante salientar que os sintomas de toxidez (Almeida *et al.*, 2019; Simão; Siqueira, 2001):

- ✓ Variam entre os diferentes elementos, mesmo dentro da mesma classe (macro ou micronutrientes); e
- ✓ São específicos para cada espécie vegetal, podendo inclusive apresentar variações entre cultivares da mesma espécie.

Os procedimentos de remediação de áreas contaminadas por metais pesados são agrupados, de maneira geral, em dois grandes blocos metodológicos (Cunha *et al.*, 2020):

➤ **Técnicas de engenharia**

Incluem abordagens físicas e químicas, tais como (Pilon-Smits, 2005; Ferreira *et al.*, 2021) (Figura 3):

- ✓ Remoção do solo contaminado e substituição por solo limpo (escavação e descarte controlado);
- ✓ Imobilização química dos metais pesados por meio da aplicação de reagentes como fosfatos, silicatos, carbonatos e materiais alcalinos;
- ✓ Cobertura física com geotêxteis ou solos vegetados, com o intuito de evitar a dispersão de partículas contaminadas por erosão hídrica ou eólica.

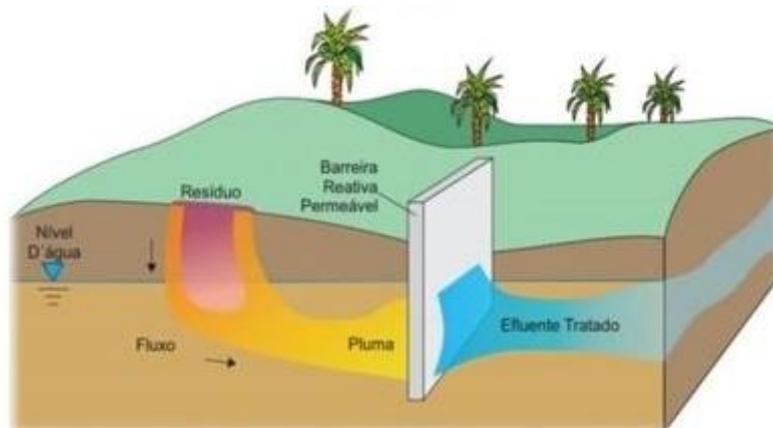


Figura 3. Barreiras reativas permeáveis. Fonte: <https://www.grengenharia.com/investigacao-remediacao-areas-contaminadas>.

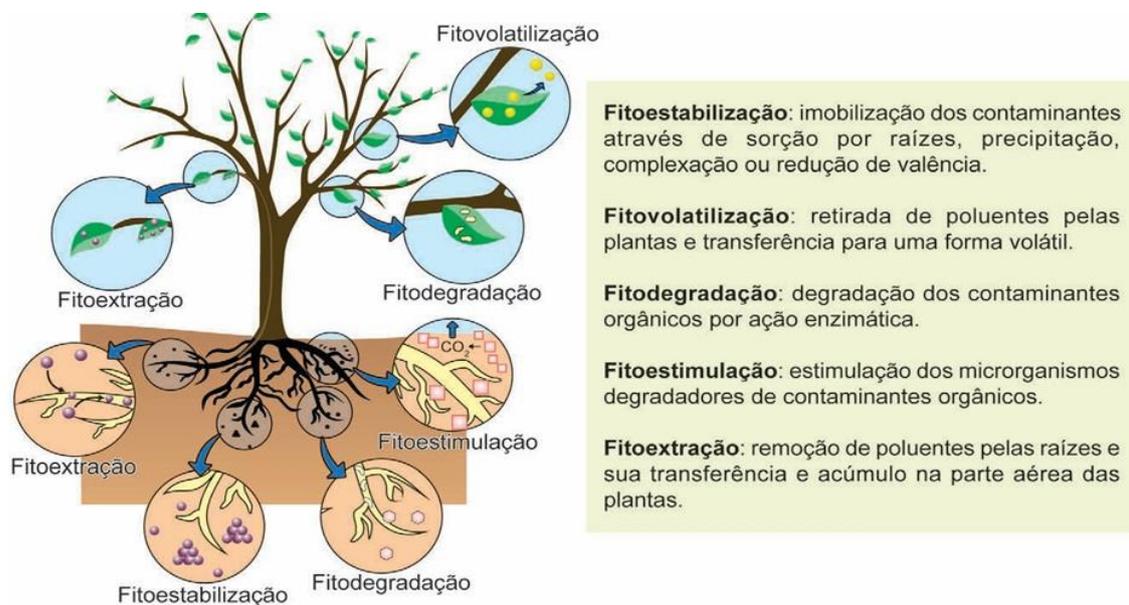


Figura 4. Procedimentos de remediação de áreas contaminadas por fitorremediação. Fonte: <https://plataformaassaad.com.br/>.

➤ Fitorremediação

Trata-se de uma técnica biotecnológica que emprega plantas capazes de absorver, estabilizar, degradar ou volatilizar contaminantes. Pode ser subdividida em (Pilon-Smits, 2005; Ferreira *et al.*, 2021) (Figura 4):

- ✓ **Fitoextração:** remoção dos metais pelas raízes e posterior translocação para as partes aéreas, que são colhidas e descartadas de forma adequada;

- ✓ **Fitostabilização:** uso de plantas para reduzir a mobilidade e a biodisponibilidade dos metais no solo;
- ✓ **Rizofiltração:** processo que utiliza raízes para filtrar e remover contaminantes da água ou de efluentes.

A escolha entre as técnicas deve considerar as condições edafoclimáticas, o grau e tipo de contaminação, o tempo disponível, os custos e os objetivos da remediação (Ex.: contenção, descontaminação total ou recuperação ecológica).

4.1. Técnicas de engenharia

As técnicas de engenharia representam métodos físicos e, ou, químicos comumente utilizados para remediar solos contaminados por metais pesados, especialmente em áreas com altos níveis de toxicidade e riscos imediatos à saúde humana e ambiental. Dentre as principais abordagens destacam-se (Simão; Siqueira, 2001; Cunha *et al.*, 2020; USEPA, 2022):

- ✓ Escavação e disposição do solo contaminado em aterros industriais licenciados;
- ✓ Lavagem do solo, utilizando soluções ácidas ou agentes quelantes para extração dos contaminantes;
- ✓ Tratamento térmico ou eletrocínético, aplicando calor ou corrente elétrica para volatilização, mobilização ou destruição dos poluentes;
- ✓ Vitrificação, processo de aquecimento a altas temperaturas para imobilização dos metais em uma matriz vítrea estável;
- ✓ Recobrimento com camadas impermeabilizantes, como mantas geossintéticas ou asfalto, com o objetivo de isolar a área contaminada (Figura 5);
- ✓ Solidificação/estabilização, que consiste na incorporação de aditivos como cimento, cal ou pozolanas para reduzir a mobilidade e biodisponibilidade dos metais no solo.



Figura 5. Projeto de recuperação de lagoas de tratamento de efluentes com mantas geossintéticas. Fonte: <https://www.geossintec.com.br/geossinteticos-na-recupera-ção-de-áreas-degradadas-e-contaminadas>.

Embora sejam eficazes, essas metodologias possuem alto custo operacional e frequentemente causam impactos ambientais significativos, como destruição da estrutura e microbiota do solo, geração de resíduos perigosos e emissões atmosféricas. Por essas razões, seu uso é recomendado principalmente para áreas pontuais e de elevado risco ambiental ou sanitário (Almeida *et al.*, 2019). Em contrapartida, para áreas extensas, a preferência recai sobre métodos biológicos, como a fitorremediação, que são mais sustentáveis e economicamente viáveis.

4.2. Fitorremediação

A fitorremediação é uma biotecnologia ambiental que utiliza plantas e sua microbiota associada — como fungos micorrízicos e rizobactérias — para remover, imobilizar, estabilizar ou degradar contaminantes presentes no solo, na água e até mesmo no ar. Essa técnica tem se mostrado eficaz na remediação de áreas poluídas por compostos inorgânicos (como metais pesados e radionuclídeos), hidrocarbonetos derivados do petróleo, agrotóxicos, solventes clorados, explosivos e resíduos orgânicos industriais (Pilon-Smits, 2005; Jones *et al.*, 2021).

Por ser um método *in situ*, de baixo custo operacional, ambientalmente amigável e com possibilidade de aplicação em larga escala, a fitorremediação representa uma alternativa promissora aos métodos convencionais de engenharia, como a escavação e incineração de solos contaminados ou o bombeamento e tratamento de águas subterrâneas (Souza *et al.*, 2020). Países em desenvolvimento podem se beneficiar amplamente desta tecnologia, dada sua simplicidade e custo reduzido de implementação (Santos; Andrade; Munhoz, 2022) (Figura 6).

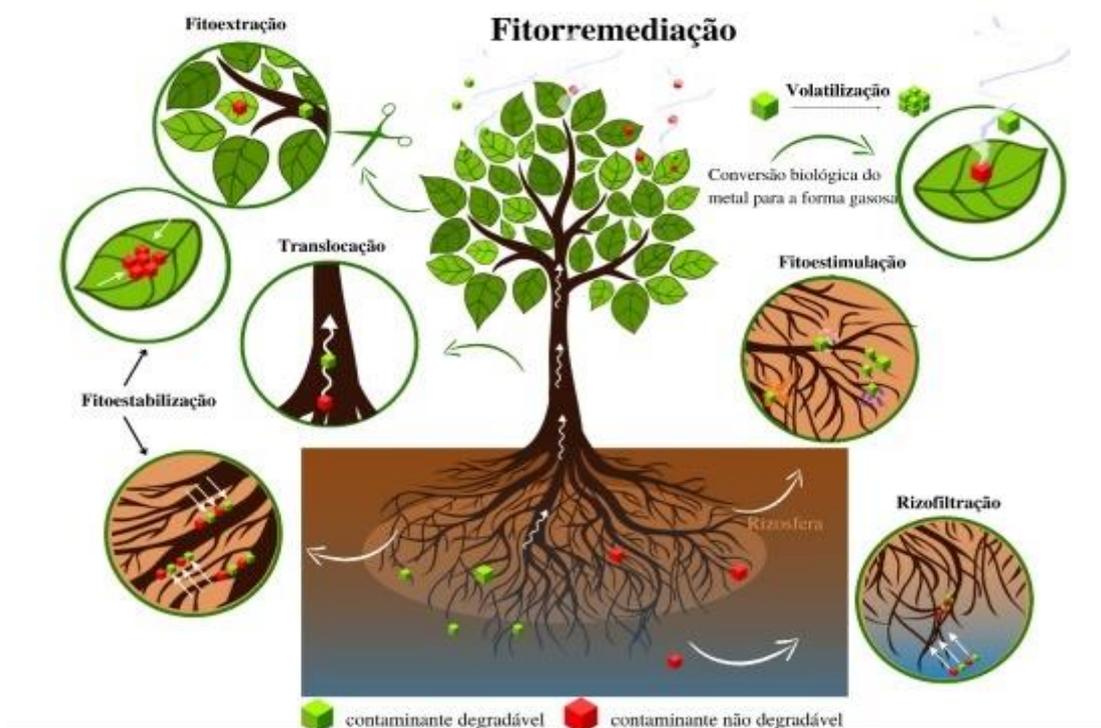


Figura 6. Fitorremediação. Fonte: <https://www.gmaxgenetica.com.br/gmax/informativos/plantas-que-descontaminam-o-solo/>.

Dependendo do tipo de contaminante e das características do ambiente, diferentes mecanismos podem ser empregados (MA *et al.*, 2011):

- ✓ Fitoextração: absorção e acúmulo de contaminantes pelas raízes e posterior translocação para partes aéreas da planta, permitindo a colheita e o tratamento da biomassa contaminada;
- ✓ Fitoestabilização: imobilização de poluentes no solo por meio da absorção radicular ou adsorção na rizosfera, reduzindo sua mobilidade e biodisponibilidade;

- ✓ Fitodegradação: metabolização dos compostos tóxicos pela planta, transformando-os em substâncias menos tóxicas ou inócuas;
- ✓ Rizofiltração: uso de raízes para remover contaminantes da água;
- ✓ Fitorremediação assistida por microrganismos, destacando-se a simbiose com fungos micorrízicos, que aumenta a tolerância e a eficiência das plantas frente aos poluentes.

A escolha das espécies vegetais adequadas — geralmente hiperacumuladoras, com alta biomassa e crescimento rápido —, combinada ao manejo do solo (como adição de quelantes, compostos orgânicos ou condicionadores), é fundamental para o sucesso da técnica.

4.2.1. Fitoextração

A fitoextração é uma das técnicas mais estudadas e promissoras da fitorremediação. Consiste na remoção de contaminantes, sobretudo metais pesados, do solo por meio da absorção pelas raízes de plantas hiperacumuladoras, seguida da translocação e acúmulo nas partes aéreas, que posteriormente são colhidas. Após a colheita, a biomassa vegetal contaminada deve ser adequadamente gerenciada, podendo ser encaminhada para processos de compostagem, digestão anaeróbica, incineração ou pirólise, com a possibilidade de recuperação de metais de interesse econômico (Simão; Siqueira, 2001; Pilon-Smits, 2005; Alvarez-Aragon *et al.*, 2022) (Figura 7).



Figura 7. Fitoextração: Jalapão. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

Determinadas espécies vegetais, denominadas plantas hiperacumuladoras, possuem a capacidade de absorver e tolerar altas concentrações de metais como Cd, Zn, Pb, Ni, Cr e As, sem apresentarem sintomas fitotóxicos. Essa capacidade é atribuída a mecanismos fisiológicos e bioquímicos específicos, como a quelatização intracelular, o compartimentalização em vacúolos e a produção de proteínas metalotioneínas e fitocquelatinas (Ma *et al.*, 2011; Yang *et al.*, 2020).

Essas plantas podem ser utilizadas não apenas na remediação de áreas contaminadas, mas também como indicadores biológicas da presença de certos metais no ambiente. No Quadro 3, estão listadas algumas espécies com reconhecida capacidade de acumular metais pesados, como *Thlaspi caerulescens* (Zn e Cd), *Brassica juncea* (Pb e Cr), e *Pteris vittata* (As), entre outras.

Quadro 3. Plantas acumuladoras de metais pesados e outros elementos

Elemento	Teor % na cinza	Espécie
Ni	>10	<i>Alyssum bertolinii</i> e <i>A. Musale</i>
Zn	-	<i>Thlaspi calaminare</i>
Cr	-	<i>Pimelea suturi</i> , <i>Leptospermum scoparium</i>
Co	1 – 3	<i>Crotalaria cobáltica</i>
Se	-	<i>Astragalus racimosus</i>
Sr	-	<i>Arabis stricta</i>
U	-	<i>Uncinia leptostachya</i> , <i>Coprosma aborea</i>
Cu	0,1 – 1	<i>Becuim homblei</i>
Hg	-	<i>Betuea papyrifera</i>
W	-	<i>Pinus sibiricus</i>
Zn	-	<i>Equisetum arvense</i>

Fonte: Kabata-Pendias e Pendias, 1985.

A eficiência da fitoextração depende de diversos fatores, tais como:

- ✓ Características físico-químicas do solo (pH, matéria orgânica, textura, CTC);
- ✓ Disponibilidade e forma química do metal no solo;
- ✓ Clima e manejo agrônômico;
- ✓ Tipo e vigor da planta utilizada.

Em determinadas situações, podem ser utilizados quelantes sintéticos, como o EDTA (ácido etilenodiaminotetracético), para aumentar a biodisponibilidade dos metais no solo e, assim, melhorar a taxa de extração. No entanto, é preciso cuidado com o uso desses compostos, devido ao risco de lixiviação e contaminação de águas subterrâneas (Nowack *et al.*, 2010).

A tolerância ao excesso de MP é altamente herdável, pelo fato do caráter “tolerância” ser, em geral, dominante. Essa observação é de extrema importância por pelo menos, três motivos: a) obtenção de genótipos capazes de crescer e produzir em solos com níveis altos de metais pesados; b) obtenção de genótipos nos quais o elemento tóxico não se localize na parte comestível; e c) utilização dessas espécies para a recuperação de áreas degradadas ou, por exemplo, auxiliarem no processo de remoção de sais em solos salinizados (Kabata-Pendias; Pendias, 1985).

4.2.2. Fitoestabilização

A fitoestabilização é uma técnica de fitorremediação que visa reduzir a mobilidade, biodisponibilidade e toxicidade de contaminantes metálicos no solo, por meio da imobilização dos poluentes na rizosfera ou na própria matriz do solo, associada ao uso de plantas tolerantes ao estresse por metais pesados e de amenizantes químicos e orgânicos (Simão; Siqueira, 2001; Marmiroli *et al.*, 2011) (Figura 8).

Essa estratégia tem sido aplicada com sucesso na revegetação de áreas degradadas por atividades mineradoras, contribuindo para o controle da erosão, redução da dispersão dos poluentes e restabelecimento dos serviços ecossistêmicos locais (Mench *et al.*, 2010).

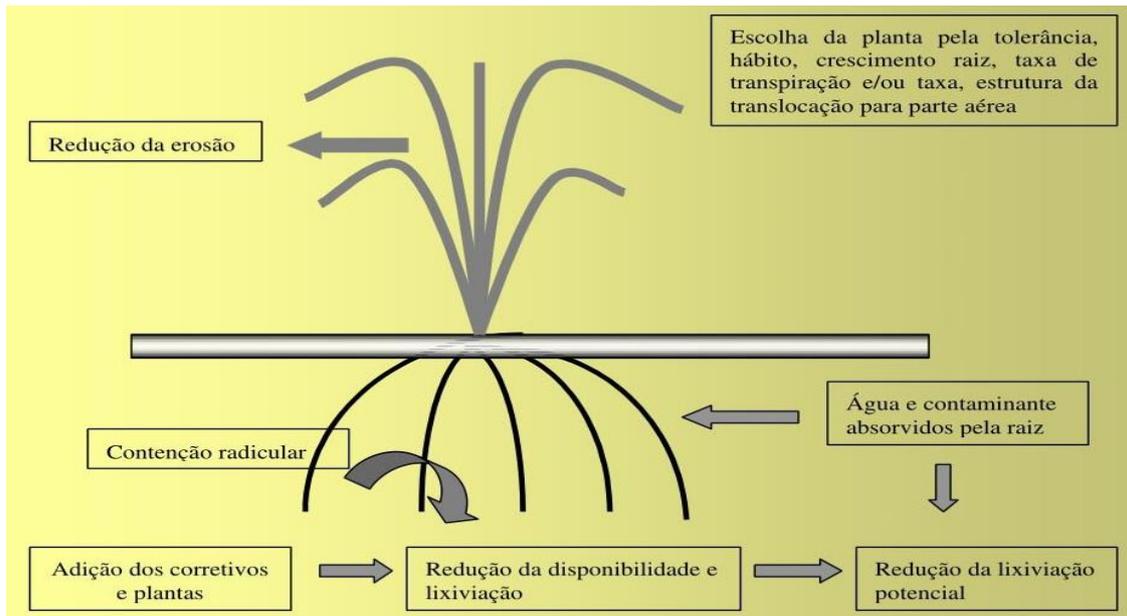


Figura 8. Fitoestabilização. Fonte: Acervo Fabiana Soares dos Santos, UENF.

O sucesso da fitoestabilização depende de práticas como (Griffith *et al.*, 1994; Kumari *et al.*, 2021):

- ✓ Correção da acidez ou alcalinidade do solo;
- ✓ Melhoria da fertilidade com adição de matéria orgânica (compostos, biochar, resíduos agroindustriais);
- ✓ Estímulo à atividade microbiana do solo, que pode auxiliar na transformação e imobilização de metais por processos de biossorção, bioacumulação e precipitação biogênica.

Os amenizantes, como fosfatos, silicatos, óxidos de ferro e alumínio, materiais carbonáceos, e calcário, atuam reduzindo a biodisponibilidade dos metais por diferentes mecanismos (González *et al.*, 2022).:

- ✓ Adsorção nas superfícies de partículas do solo;
- ✓ Aumento do pH, que favorece a precipitação dos metais em formas menos solúveis;
- ✓ Complexação com substâncias húmicas, que retêm os metais em formas pouco móveis.

Os principais processos de estabilização envolvem (Nowack *et al.*, 2010):

- ✓ Precipitação química (formação de fosfatos, carbonatos ou hidróxidos metálicos);
- ✓ Adsorção e troca iônica em coloides minerais e orgânicos;
- ✓ Transformações redox que alteram a valência dos metais e sua mobilidade;
- ✓ Humificação, especialmente em solos ricos em matéria orgânica.

É importante ressaltar que solos muito ácidos favorecem a solubilização de metais e seu transporte para águas superficiais e subterrâneas. Assim, a correção da acidez é fundamental para o sucesso da técnica.

O potencial econômico da fitoestabilização também é significativo. Glass (1998) estimou que, já no ano 2000, os gastos globais com despoluição ambiental giravam entre 25 e 30 bilhões de dólares, com projeções de investimentos entre 55 e 103 milhões de dólares em fitorremediação somente nos Estados Unidos. No Brasil, embora os dados específicos ainda sejam escassos, observa-se um crescimento do interesse pela técnica, impulsionado por uma sociedade cada vez mais exigente quanto à qualidade ambiental e pela implantação de normas legais mais rigorosas, tanto em âmbito nacional quanto internacional.

5. Considerações

Diante do cenário de crescente uso de agrotóxicos impulsionado pela demanda alimentar e expansão agrícola, torna-se urgente adotar abordagens integradas que mitiguem os impactos ambientais e promovam a recuperação de áreas contaminadas. A degradação dos solos e a contaminação dos corpos hídricos, resultantes da aplicação intensiva e, muitas vezes, inadequada desses compostos, evidenciam a necessidade de soluções que aliem conhecimento técnico-científico e práticas sustentáveis.

Nesse contexto, as técnicas de engenharia ambiental desempenham papel estratégico, oferecendo soluções robustas para contenção, remediação e

monitoramento da poluição. A implantação de barreiras físicas para contenção do escoamento superficial, a construção de bacias de retenção e *wetlands* artificiais, bem como o uso de sistemas de drenagem e técnicas de geotecnologia para diagnóstico e planejamento territorial, são exemplos de medidas que auxiliam na mitigação da contaminação e na reabilitação de ecossistemas impactados.

Entre as tecnologias emergentes, destaca-se a fitorremediação, técnica baseada na utilização de plantas com capacidade de absorver, transformar ou estabilizar contaminantes presentes no solo e na água. Espécies vegetais adaptadas a ambientes contaminados podem ser empregadas para fitoextração de metais pesados e resíduos de agrotóxicos, fitoestabilização de áreas degradadas e rizodegradação mediada pela atividade microbiana associada às raízes. Trata-se de uma abordagem de baixo custo, ambientalmente amigável e compatível com sistemas produtivos sustentáveis, como a agricultura orgânica e os sistemas agroflorestais.

Contudo, a efetividade da fitorremediação depende de múltiplos fatores, como a escolha adequada das espécies, o tipo de contaminante, as características edáficas e as condições climáticas. Assim, é imprescindível o fortalecimento da pesquisa aplicada, o mapeamento das áreas críticas e a capacitação técnica dos atores envolvidos. A integração entre o conhecimento agrônomo, as técnicas de engenharia e a ecologia é fundamental para a recuperação de áreas degradadas e a transição para sistemas de produção mais resilientes e ambientalmente responsáveis.

Portanto, a superação dos desafios impostos pela contaminação por agrotóxicos exige não apenas a adoção de boas práticas agrícolas, mas também investimentos em tecnologias limpas, políticas públicas de incentivo à recuperação ambiental e uma mudança de paradigma no uso dos recursos naturais.

6. Referências

ALMEIDA, J. A. *et al.* Diagnóstico e caracterização de solos contaminados por metais pesados: enfoque agroambiental. **Revista Brasileira de Ciência do**

Solo, v. 43, p. e0190101, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20190101>.

ALMEIDA, J. E.; NASCIMENTO, C. W. A. Bioavailability of heavy metals and human health risk assessment in a Brazilian soil impacted by smelting residues. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 53, n. 3, p. 231-237, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1399301>.

ALMEIDA, R. S. *et al.* Potencial de plantas halófitas para a recuperação de solos salinos no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. e0210341, 2019. DOI: [10.1590/18069657rbc20180341](https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180341).

ALVAREZ-ARAGON, L. *et al.* Engineering plants for efficient phytoremediation and phytomining: current advances and future prospects. **Trends in Biotechnology**, v. 40, n. 4, p. 392-407, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.08.002>.

ALVES, E. L. *et al.* Heavy metals in agricultural soils: sources, toxic effects, remediation techniques, and risk assessment - a review. **Science of The Total Environment**, v. 903, p. 166282, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166282>.

BASTOS, M. C. B.; FREITAS, M. B. **Impacto dos metais pesados no ambiente**. Brasília: EMBRAPA, 1999.

BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ELER, M. N. Análise dos principais impactos no rio Mogi-Guaçu: recomendações para orientar políticas públicas. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. (Eds.) **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: RiMa, 2003d. p. 205-230.

BRIGANTE, J.; SILVA, M. R. C.; QUEIROZ, L. A.; COPPI, E. Quantificação de metais na água do rio Mogi-Guaçu. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. (Eds.) **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: RiMa, 2003c. p. 85-120.

CUNHA, R. F. da *et al.* Remediação de solos contaminados por metais pesados: métodos físicos e químicos. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 28, n. 3, p. 246-258, 2020. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v28i3.1005>.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Preventing and reducing pesticide risks**. Rome, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 26 maio 2025.

GLASS, D. J. **Economic potential of phytoremediation**. In: *Phytoremediation of Toxic Metals*. John Wiley & Sons, 1998. p. 15–31.

GONÇALVES, C. S. *et al.* Contaminação ambiental por agrotóxicos e estratégias de remediação: uma revisão. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 15, n. 6, p. 1-19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2547>

GONÇALVES, R. A. B.; LIMA, J. M.; FERREIRA, M. M. Características do solo e sua relação com a mobilidade de metais pesados em áreas contaminadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e0180214, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20180214>.

GONZÁLEZ, A. P. *et al.* Use of soil amendments in phytostabilization of heavy metal-contaminated soils: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 435, p. 129120, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129120>.

GRIFFITH, S. M. *et al.* Revegetation of metal-contaminated soils: effects of amendments on metal uptake and availability. **Environmental Pollution**, v. 85, n. 2, p. 135–146, 1994.

GUERRA, M. S.; SAMPAIO, D. P. A. **Receituário agrônomo**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 436 p.

JONES, D. L. *et al.* Phytoremediation: a sustainable approach for contaminated soils and waters. **Chemosphere**, v. 282, p. 131132, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131132>.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. CRS Press, Inc. Boca Raton, 1985. 315 p.

KING, L. D. Environmental heavy metals and human health: Toxicological perspectives. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 15, n. 2, p. 123-132, 1996.

KORCAK, R. F.; FANNING, D. S. Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. In: **Soil Science**, Baltimore, v. 140, n. 1, p. 23-24, 1985.

KUMARI, A. *et al.* Microbial strategies for heavy metal remediation: recent trends and future prospects. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 222, p. 112505, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112505>.

MA, Y. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and heavy metal tolerance in plants. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 14, p. 2475–2482, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.025>.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. 201 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARMIROLI, M. *et al.* Phytostabilization of heavy metals: an opportunity for phytoremediation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 74, n. 1, p. 3-9, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.01.003>.

MENCH, M. *et al.* Phytostabilization of metal-contaminated sites. **Journal of Environmental Quality**, v. 39, n. 5, p. 1581-1592, 2010.

MOREIRA, A. B. *et al.* Influência das propriedades do solo na retenção e mobilidade de metais pesados. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, p. e02415, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0241r1vu21l2ao>.

MUSUMECI, M. R. Defensivos agrícolas e sua interação com a microbiota do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N. **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1992. p. 341-360. 360 p.

NOWACK, B. *et al.* Chelating agents in soil-plant systems: risks and benefits. **Environmental Science and Technology**, v. 44, p. 9375–9380, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1021/es1022244>.

NOWACK, B. *et al.* The behavior and effects of chelating agents in soil–plant systems. **Environmental Science and Technology**, v. 44, p. 9375-9380, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1021/es1022244>.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology**, v. 56, p. 15-39, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>.

SANTOS, M. E.; ANDRADE, T. M. C.; MUNHOZ, C. B. Fitorremediação de metais pesados em áreas urbanas: perspectivas para restauração ambiental. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 10, n. 2, p. 1-13, 2022.

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

SILVA, J. P. *et al.* Agricultura orgânica e recuperação de solos contaminados: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 63, n. 4, 2020.

SIMÃO, J. B. P.; SIQUEIRA, J. O. Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação. In: **Informe Agropecuário – Recuperação de Áreas Degradadas**. v. 22, n. 210, p. 18-26, 2001. Belo Horizonte: EPAMIG.

SOUZA, G. S. *et al.* Potencial da fitorremediação no manejo de áreas contaminadas por metais pesados: uma revisão. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, p. 503–510, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i4.7955>.

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>.

SOUZA, M. N. **Degradação e Recuperação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 371p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Engineering Issue: Solidification/Stabilization for Soil Remediation**. Washington, DC, 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/remedytech>. Acesso em: 25 maio 2025.

YANG, X. *et al.* Hyperaccumulator plants and global phytoremediation: Progress, challenges and future directions. **Environmental International**, v. 139, p. 105730, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>.

Autenticação e caracterização de isolados de bactérias fixadoras de nitrogênio associadas a leguminosas nativas em áreas degradadas de campos rupestres

Dauvane Macinele Gomes dos Santos, Jaínnny Juliany Mathias das Neves, Karla Pereira Flávio, Michelle Santos Silva, Aline Marchiori Crespo, Maurício Novaes Souza, Atanásio Alves do Amaral

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c5>

Resumo

Este estudo teve como objetivo caracterizar morfológica e culturalmente isolados bacterianos obtidos de nódulos radiculares de 12 espécies de leguminosas nativas de campos rupestres, coletadas em quatro áreas com diferentes níveis de degradação no município de Diamantina (MG): uma antiga cascalheira (área de mineração de ouro), um antigo lixão, o bairro Jardim Imperial e um acesso secundário à cidade. Um total de 149 isolados bacterianos foi obtido. Para uma avaliação preliminar da capacidade simbiótica, 51 isolados foram selecionados e testados quanto à nodulação em *Vigna unguiculata* (feijão-caupi) e *Phaseolus vulgaris* (feijão-comum) cultivados em garrafas do tipo long neck em casa de vegetação. Nenhum dos isolados promoveu a formação de nódulos nas espécies-teste, indicando possível especificidade simbiótica com as leguminosas nativas de origem. Além disso, fatores ambientais como temperatura e umidade podem ter influenciado negativamente a nodulação. Para estudos futuros, recomenda-se o uso das plantas hospedeiras originais e o controle rigoroso das condições ambientais. Apesar da ausência de nodulação nas plantas-teste, os resultados contribuem para a prospecção de microrganismos nativos com potencial aplicação na recuperação de áreas degradadas.

Palavras-chave: Bactérias rizobianas. Fixação biológica de nitrogênio. Simbiose planta-microrganismo. Leguminosas nativas. Ecologia microbiana. Campos rupestres. Recuperação ambiental.

1. Introdução

Os campos rupestres, também conhecidos como “campos de altitude”, constituem uma fisionomia vegetacional de importância ecológica singular. Este ecossistema único e altamente diverso ocorre, principalmente, nas altitudes elevadas da Cadeia do Espinhaço, nos estados de Minas Gerais e Bahia, e em algumas serras do estado de Goiás. Desenvolve-se em regiões montanhosas, com altitudes variando entre 800 e 2.000 metros, podendo também ocorrer em outras áreas da América do Sul (Negreiros, 2008; Jacobi; Sklenar; Ramírez, 2014; Monteiro, 2020; Sano *et al.*, 2020; Braga *et al.*, 2021).

A vegetação predominante nesses ambientes é herbáceo-arbustiva, variando de acordo com relevo, microclima, profundidade e natureza do solo, formando um mosaico vegetacional. Caracterizam-se por apresentar uma estação seca marcada, grandes variações de temperatura entre o dia e a noite e afloramentos rochosos, além de solos rasos e pobres em nutrientes, o que favorece a adaptação de plantas e animais a condições ambientais adversas (Giulietti *et al.*, 2000; Vasconcelos, 2011; Sano *et al.*, 2020; Braga *et al.*, 2021).

Estima-se que esses ecossistemas abriguem entre 5.000 e 15.000 espécies vegetais, muitas delas endêmicas. A flora inclui arbustos, gramíneas, ervas e espécies epífitas, como bromélias e orquídeas, que desenvolveram adaptações fisiológicas e morfológicas para a absorção eficiente de água e nutrientes sob forte incidência solar (Sano *et al.*, 2020; Braga *et al.*, 2021).

De acordo com esses mesmos autores, a fauna local também é diversificada, incluindo espécies ameaçadas, como o pato-mergulhão (*Mergus octosetaceus*), a jacutinga (*Pipile jacutinga*) e o sagui-de-cabeça-amarela (*Callithrix flaviceps*), o que evidencia a vulnerabilidade ecológica desses habitats. No entanto, a expansão da agricultura, da mineração e da urbanização ameaça a integridade desses ambientes, promovendo a fragmentação do habitat e a introdução de espécies invasoras.

Frente a esses impactos, ações de conservação têm sido implementadas por meio da criação de unidades de conservação, parques nacionais e programas de monitoramento e pesquisa para subsidiar o manejo sustentável desses ecossistemas (Monteiro, 2020; Sano *et al.*, 2020; Braga *et al.*, 2021). A conservação dos campos rupestres é fundamental para a manutenção da

biodiversidade e para a prestação de serviços ecossistêmicos, como a regulação hídrica e o sequestro de carbono (Macedo *et al.*, 2003; Monteiro, 2020; Sano *et al.*, 2020; Braga *et al.*, 2021).

A composição florística dos campos rupestres é fortemente influenciada pelas condições extremas, como alta luminosidade, solos rasos e pobres, baixa umidade e presença de afloramentos rochosos (Conceição; Pirani, 2007; Jacobi *et al.*, 2007; Monteiro, 2020; Sano *et al.*, 2020; Braga *et al.*, 2021). Muitas espécies estão ameaçadas de extinção devido à limitação de sua área de ocorrência e à pressão antrópica crescente, especialmente da atividade mineradora (Menezes; Giuliatti, 2000; Braga *et al.*, 2021).

Um dos principais desafios à restauração desses ambientes é a baixa fertilidade dos solos, sendo o nitrogênio um dos nutrientes mais limitantes, sobretudo nos estágios iniciais de desenvolvimento vegetal (Melloni *et al.*, 2006). Nesse contexto, o uso de leguminosas com capacidade de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio representa uma estratégia promissora, promovendo maior acúmulo de matéria orgânica e facilitando a sucessão vegetal (Melloni *et al.*, 2006; Uchôa, 2007; Fernandes *et al.*, 2014; Sampaio e Fidelis, 2018).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) ocorre por meio de simbiose mutualística entre bactérias do gênero *Rhizobium* (rizóbios) e raízes de leguminosas, com formação de nódulos radiculares nos quais o nitrogênio atmosférico é convertido em amônia (NH₃), forma assimilável pelas plantas. Esse processo contribui significativamente para o crescimento vegetal e o aumento da matéria orgânica do solo via deposição de serapilheira (Santos *et al.*, 2014).

A inoculação artificial de rizóbios em mudas de leguminosas destinadas à revegetação tem se mostrado eficaz e economicamente viável, especialmente em áreas degradadas com perda da camada superficial do solo, como encostas e áreas de mineração (Faria; Uchôa, 2007; Santos *et al.*, 2014). No entanto, a especificidade da simbiose planta-bactéria requer avaliação prévia, considerando que diferentes estirpes de rizóbios apresentam variações em sua capacidade de fixação (Uchôa, 2007; Howieson; Dilworth, 2016).

A obtenção de rizóbios para inoculantes pode ocorrer por meio do isolamento de estirpes nativas, do uso de bancos de germoplasma e da produção em biorreatores, envolvendo parcerias com empresas especializadas. A qualidade e a eficiência desses produtos dependem de processos técnicos rigorosos e do manejo adequado durante o armazenamento e uso (Vincent; Wilson, 2014; Howieson; Dilworth, 2016).

O processo de isolamento começa pela coleta de nódulos em campo, seguida por purificação e caracterização morfológica e cultural das estirpes, sendo uma abordagem acessível e de baixo custo. Embora atualmente se adote uma taxonomia polifásica para a identificação de microrganismos, os caracteres culturais ainda são amplamente utilizados (Jesus, 2005; Vincent; Wilson, 2014; Howieson; Dilworth, 2016).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar fenotipicamente bactérias isoladas de nódulos radiculares de 12 espécies de leguminosas nativas de campos rupestres.

2. Caracterização cultural dos isolados

O estudo foi conduzido entre janeiro de 2015 e julho de 2016, na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), situada no município de Diamantina, Minas Gerais, Brasil (18°14'31.6"S, 43°36'02.9"W). A cidade está localizada na Cadeia do Espinhaço, uma região de campos rupestres com elevado risco à biodiversidade. No entanto, esse ambiente tem sido impactado por atividades como mineração e descarte inadequado de resíduos (Gontijo, 2008). Diante disso, a região foi escolhida para a investigação da diversidade microbiana associada a leguminosas nativas em áreas degradadas.

As coletas de nódulos radiculares foram realizadas em quatro áreas de campo rupestre selecionadas, com diferentes graus de degradação ambiental: uma cascalheira (antiga área de mineração de ouro), um antigo lixão, uma estrada de acesso secundário ao município de Diamantina e o bairro Jardim Imperial. As espécies de leguminosas foram selecionadas com base em sua capacidade de nodulação ou pela ausência de informações disponíveis sobre

essa característica. A seleção teve como referência antigos inventários e projetos desenvolvidos na região (Neves; Conceição, 2010; Amaral *et al.*, 2015).

Foram coletados nódulos radiculares de 12 espécies de leguminosas nativas: *Inga* sp., *Enterolobium* sp., *Machaerium* sp., *Stylosanthes* sp., *Zornia* sp., *Plathyenia reticulata*, *Calliandra* sp., *Chamaecrista nictitans*, *Acacia polyphylla*, *Aeschynomene paniculata*, *Chamaecrista ramosa* e *Mimosa foliosa*. As espécies não identificadas em campo foram coletadas na forma de exsicatas e encaminhadas ao Herbário Dendrológico Jeanine Felfili (HDJF), da UFVJM, onde foram identificadas por especialistas. A Figura 1 apresenta os locais de coleta e a distribuição das espécies de leguminosas identificadas.

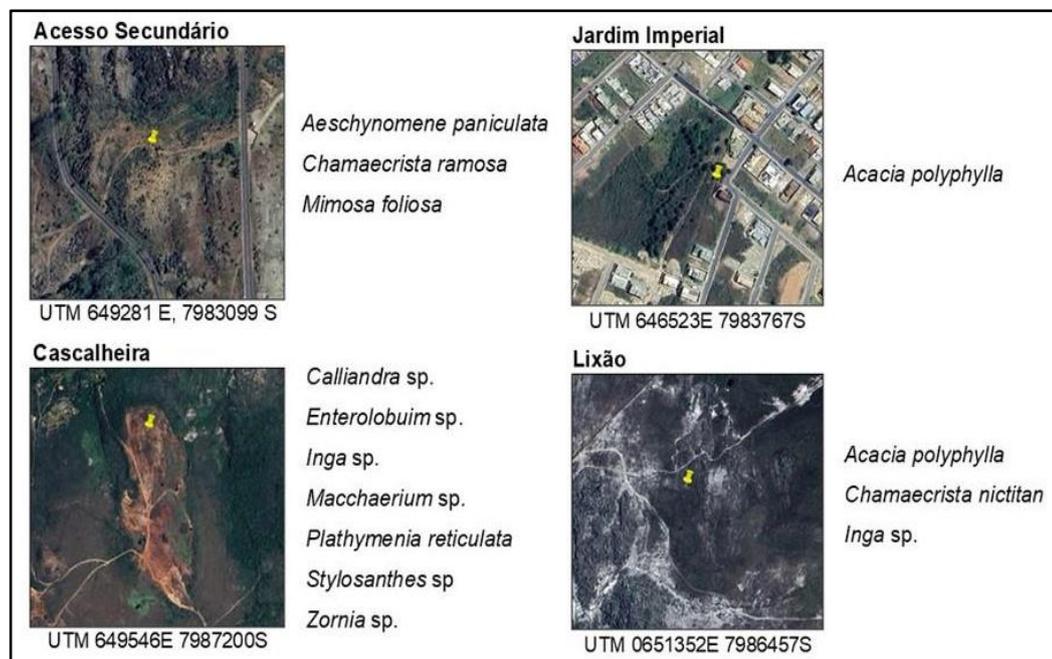


Figura 1. Imagens de satélite dos locais de coleta de nódulos radiculares de leguminosas nativas, com indicação das espécies encontradas e respectivas coordenadas geográficas (UTM), no entorno da UFVJM, em Diamantina, MG. Fonte: Os autores. Imagens de satélite obtidas do Google Earth Pro (acesso em 2025).

A coleta dos nódulos seguiu a metodologia descrita por Moreira (2010), que consiste em escavar cuidadosamente ao redor do colo da planta, com o auxílio de uma pá, até localizar raízes conectadas ao tronco principal, afrouxando o solo até a visualização das ramificações mais finas, onde os nódulos geralmente se

formam. Os nódulos coletados foram armazenados em sacos plásticos identificados e transportados ao Laboratório de Conservação de Ecossistemas e Recuperação de Áreas Degradadas (DEF–UFVJM). No laboratório, os nódulos foram lavados em água corrente sobre peneiras e armazenados individualmente em frascos de vidro com tampa encaixável, contendo sílica gel na base e um chumaço de algodão na parte superior, com o objetivo de sua conservação.

O isolamento, a purificação, a caracterização fenotípica e a estocagem das bactérias presentes nos nódulos foram realizados previamente, resultando em um total de 149 isolados. Para a identificação desses isolados, adotou-se um sistema de codificação composto pelas letras iniciais da espécie de leguminosa, seguidas pelas iniciais da área de coleta e por um número correspondente ao nódulo de origem (Figura 2).

Espécies x Iniciais	Áreas de coleta
IN - <i>Inga</i> sp. EM - <i>Enterolobium</i> sp. MA - <i>Machaerium</i> sp. ST - <i>Stylosanthes</i> sp. ZO - <i>Zornia</i> sp. PL - <i>Plathymentia reticulata</i> CA - <i>Caliandra</i> sp. CH - <i>Chamaecrista nictitans</i> AC - <i>Acacia polyphylla</i> AE - <i>Aeschynomene paniculata</i> CH - <i>Chamaecrista ramosa</i> MI - <i>Mimosa foliosa</i>	CA – Cascalheira LI – lixão ES – Estrada JI – Jardim Imperial <div style="border: 1px solid black; background-color: #90EE90; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px 0;"> SpAC-N </div> Sp: Iniciais da espécie de leguminosa AC: Área de coleta N: Número do nódulo

Figura 2. Sistema de codificação. Fonte: Os autores.

3. Autenticação dos isolados

O experimento de autenticação foi conduzido na casa de vegetação do Centro Integrado de Propagação de Espécies Florestais (CIPEF). O ensaio foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com duas repetições por tratamento. Foram utilizados dois controles positivos e dois controles negativos: um contendo adição de nitrogênio sem inoculação e outro sem adição de nitrogênio e também sem inoculação. Os controles positivos corresponderam às estirpes recomendadas como inoculantes para leguminosas florestais pela Reunião de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de

Tecnologia de Inoculantes Microbiológicos de Interesse Agrícola (RELARE/MAPA).

Para todos os tratamentos, utilizaram-se garrafas de vidro de 353 mL, tipo *long neck*, preparadas com uma tira de papel filtro, fita adesiva, papel-alumínio e solução nutritiva. As garrafas foram autoclavadas a $1,5 \text{ kg cm}^{-2}$, durante uma hora, a $127 \text{ }^\circ\text{C}$.

Nos tratamentos inoculados, bem como nos controles sem inoculação e sem nitrogênio mineral, foi empregada a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), diluída quatro vezes e com baixa concentração de nitrogênio ($5,25 \text{ mg L}^{-1}$), considerada dose inicial adequada à fixação biológica do nitrogênio. A composição da solução foi a seguinte: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ $0,1 \text{ mL L}^{-1}$; KNO_3 $0,6 \text{ mL L}^{-1}$; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $0,4 \text{ mL L}^{-1}$; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2 mL L^{-1} ; K_2SO_4 3 mL L^{-1} ; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 10 mL L^{-1} ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 200 mL L^{-1} ; H_3BO_3 $2,86 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $1,81 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $0,22 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ $0,08 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $0,09 \text{ mg L}^{-1}$; e FeCl_3 1 mL .

Como plantas isca para rizóbios, foram utilizadas sementes de *Vigna unguiculata* (feijão-caupi) e *Phaseolus vulgaris* (feijão-comum), previamente desinfestadas e escarificadas com ácido sulfúrico puro por 10 minutos, seguidas de lavagens sucessivas com água destilada estéril. Posteriormente, as sementes foram imersas em água estéril por 2 horas e, sob condições assépticas, acondicionadas em placas de Petri sobre algodão autoclavado e umedecidas, permanecendo por 20 horas na câmara de fluxo. Em seguida, as sementes pré-germinadas foram inseridas manualmente nos orifícios das garrafas, com o auxílio de pinça estéril.

A inoculação das plantas foi realizada com 1 mL da cultura bacteriana, cultivada em meio de cultura líquido conforme descrito por Fred e Waksman (1928) e Smith, Johnson e Brown (2022), respeitando-se o tempo ideal de crescimento de cada isolado. Foram testados 51 isolados representativos dos agrupamentos formados, abrangendo todas as espécies de leguminosas coletadas nos quatro ambientes com diferentes graus de degradação: cascalheira (antiga área de mineração de ouro), antigo lixão municipal, bairro

Jardim Imperial e estrada de acesso secundário ao município de Diamantina (Tabela 1).

Tabela 1. Isolados representantes autenticados em *Vigna unguiculata* (feijão-caupi) e *Phaseolus vulgaris* (feijão comum)

Grupo	Isolados autenticados*
3	ing casc 31, Mac cas 2
4	ing casc 29
5	ing casc lix 6
6	ing casc 3
8	ing casc 30
9	men ji 2
11	ch ram 2º 4
12	min fol A2 1, sty paul 17, sty pau 5, zor pau 3, sty jul 3
13	ing casc 21
14	men lix 10, men lix 9
15	men ji 4, ch nic lix 3,
16	ing casc 20
17	ing casc 32
18	men ji 3, ing casc 8
19	ch ram 2º 9, ch ram 2º 8
20	men ji 7
21	ing lix 2
22	men ji 13
24	ing lix 1
25	ing lix 7
27	ing casc 26
29	men lix 1, men lix 2
32	ing casc 17
33	ing casc 15, ing casc 3, ing casc 4
34	ing casc 19
35	men lix 5, plant casc 2, ing casc 23
36	ing casc 2
38	ing casc 16
39	ing casc 13
40	ing casc 12
41	ing casc 18
42	ing casc 5
45	ing casc 27
46	men ji 12, men ji 10, men ji 8
47	ing casc 1

Fonte: Os autores.

* Letras iniciais são referentes ao nome da espécie leguminosa, seguida das iniciais das áreas de coleta e de um número correspondente ao nódulo do qual a bactéria foi isolada.

Quarenta dias após a germinação, procedeu-se à colheita das plantas, com o objetivo de verificar a presença ou ausência de nodulação. As plântulas foram cuidadosamente removidas das garrafas utilizando-se pinça esterilizada, sempre sob condições assépticas, a fim de evitar qualquer tipo de contaminação. A avaliação da nodulação foi realizada de forma visual, considerando a presença, a quantidade e o aspecto dos nódulos formados. A presença de nódulos indicava que a simbiose entre a planta e o isolado bacteriano havia ocorrido. Por outro lado, a ausência de nódulos podia indicar incompatibilidade entre a bactéria e a planta hospedeira, ou ainda baixa eficiência da estirpe utilizada (Hungria; Araújo, 1994). Essa etapa foi fundamental para identificar os isolados com maior potencial de formação de nódulos em condições controladas.

4. Resultados e discussões

Durante os experimentos de autenticação, não foi observada nodulação em nenhuma das plantas-teste utilizadas — *Vigna unguiculata* (feijão-caupi) e *Phaseolus vulgaris* (feijão comum) — independentemente do isolado bacteriano inoculado. Esse resultado sugere que, sob as condições experimentais adotadas, não ocorreu uma simbiose efetiva entre os isolados bacterianos e as leguminosas utilizadas como plantas isca.

Esse achado, embora inicialmente possa parecer um indicativo de baixa eficiência simbiótica dos isolados, deve ser interpretado com cautela. A literatura especializada destaca que solos degradados, como os amostrados neste estudo, abrigam uma microbiota altamente diversa e adaptada a condições ambientais extremas, muitas vezes composta por bactérias que desempenham papéis importantes, ainda que não estejam diretamente associadas à nodulação (Faria *et al.*, 1999; Moreira *et al.*, 2006; Amaral *et al.*, 2015). A caracterização morfológica dos isolados representa um primeiro passo relevante na compreensão da ecologia microbiana local, mas não permite, por si só, a

definição do seu modo de vida — se endofítico², rizosférico³ ou simbiótico⁴ fixador de nitrogênio.

A ausência de nodulação nas plantas-teste pode estar relacionada à especificidade entre bactéria e planta hospedeira. Como os isolados não foram testados em leguminosas da mesma espécie da qual foram originalmente obtidos, é possível que haja uma relação simbiótica específica com seus hospedeiros nativos, não reproduzida neste experimento (Faria *et al.*, 1999). Esse fenômeno é amplamente reconhecido na literatura, especialmente entre leguminosas de regiões tropicais e subtropicais, cujas interações com rizóbios são frequentemente marcadas por alta especificidade simbiótica.

Além disso, fatores ambientais podem ter interferido significativamente nos resultados. O experimento foi conduzido entre os meses de novembro e dezembro, período em que se registram temperaturas elevadas, o que pode ter comprometido tanto a sobrevivência dos microrganismos quanto o estabelecimento da simbiose. Segundo Hungria e Vargas (2000), condições adversas como altas temperaturas, acidez do solo e déficit hídrico são limitantes importantes tanto para a nodulação quanto para a fixação biológica de nitrogênio (FBN), especialmente em ambientes tropicais. Assim, a ausência de nodulação não exclui o potencial simbiótico dos isolados, mas evidencia a necessidade de otimização das condições experimentais.

Diante disso, torna-se relevante considerar a seleção de estirpes tolerantes a estresses abióticos, como elevadas temperaturas e solos ácidos — condições frequentemente encontradas em áreas degradadas. Estirpes adaptadas a essas adversidades podem apresentar maior eficiência simbiótica, contribuindo significativamente para o sucesso de programas de revegetação e restauração ecológica. Nesse contexto, o uso de rizóbios nativos representa uma estratégia promissora, pois esses microrganismos já estão adaptados às condições

² Refere-se a organismos, como fungos ou bactérias, que vivem dentro dos tecidos de plantas, sem causar danos aparentes à planta hospedeira.

³ Refere-se a tudo o que está relacionado com a rizosfera, que é a região do solo que envolve as raízes das plantas e onde ocorre uma intensa interação entre a planta e os microrganismos do solo.

⁴ Refere-se à simbiose, à associação de dois ou mais seres que, embora sejam de espécies diferentes, vivem em conjunto, compartilham vantagens e se caracterizam como um só organismo.

edafoclimáticas locais, o que favorece sua sobrevivência, estabelecimento e eficácia em campo (Medeiros *et al.*, 2007).

Estudos anteriores reforçam essa abordagem. Melloni *et al.* (2006) observaram que a inoculação de *Vigna unguiculata* e *Phaseolus vulgaris* com estirpes isoladas de áreas mineradas resultou em boa formação de nódulos e aumento da biomassa das plantas. De forma semelhante, Ferreira *et al.* (2007) relataram sucesso na inoculação de leguminosas arbóreas com estirpes nativas em áreas com intensa degradação, como encostas e cortes de estrada, evidenciando o potencial dessas bactérias na recuperação de solos empobrecidos.

Apesar da ausência de nodulação neste estudo, os resultados obtidos são valiosos, pois revelam uma rica diversidade microbiana associada às leguminosas nativas dos campos rupestres. A identificação e o armazenamento desses isolados constituem uma base essencial para investigações futuras, incluindo testes de compatibilidade com leguminosas nativas, análise molecular de genes envolvidos na nodulação (como *nod*, *nif* e *fix*) e avaliações em diferentes condições edafoclimáticas. Esses dados podem subsidiar a seleção de estirpes promissoras para aplicação em programas de revegetação, contribuindo para a restauração de ecossistemas degradados com base em soluções biotecnológicas sustentáveis.

5. Considerações

O experimento de autenticação, realizado com *Vigna unguiculata* (feijão-caupi) e *Phaseolus vulgaris* (feijão comum) como plantas-teste, não apresentou formação de nódulos em nenhuma das combinações com os isolados bacterianos analisados. Embora à primeira vista esse resultado possa sugerir a ausência de capacidade simbiótica por parte dos isolados, é fundamental destacar que a nodulação é um processo complexo, influenciado por uma série de fatores, entre eles a compatibilidade específica entre bactéria e planta, as condições ambientais e o histórico adaptativo das estirpes microbianas.

A ausência de nodulação não deve, portanto, ser interpretada como um indicativo definitivo de ineficiência dos microrganismos testados. A

especificidade simbiótica é um fator amplamente documentado na literatura, sobretudo em leguminosas tropicais e em ambientes extremos, como os campos rupestres. Os isolados utilizados neste estudo foram obtidos de leguminosas nativas da região, e, por isso, sua simbiose efetiva pode depender da presença dessas espécies hospedeiras específicas. A realização de novos testes com as espécies vegetais de origem — isto é, aquelas com as quais os isolados foram naturalmente associados — é essencial para elucidar o verdadeiro potencial simbiótico dessas bactérias.

Além disso, é necessário considerar o papel das condições ambientais no sucesso da simbiose. O experimento foi conduzido durante um período de altas temperaturas, o que pode ter afetado negativamente tanto o crescimento das plantas quanto o metabolismo microbiano, comprometendo a nodulação. Estudos apontam que estresses térmicos, acidez do solo, e disponibilidade hídrica são fatores críticos para a formação e funcionalidade dos nódulos, especialmente em regiões tropicais. Isso reforça a importância de controlar e monitorar essas variáveis em futuras investigações.

Este trabalho representa um passo importante no entendimento da microbiota presente em ambientes degradados, em especial nos campos rupestres, ecossistema que reúne alta biodiversidade, mas que também enfrenta grandes pressões antrópicas. A obtenção, caracterização e preservação de isolados bacterianos desses ambientes contribuem para ampliar o conhecimento sobre as interações planta-microrganismo e oferece um ponto de partida promissor para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis voltadas à recuperação ambiental.

A partir dos resultados aqui apresentados, destaca-se a necessidade de continuidade da pesquisa com abordagens complementares, como a caracterização genética dos isolados (análise de genes *nif*, *nod* e *fix*), testes de crescimento *in vitro* e em casa de vegetação com leguminosas nativas, e simulações de diferentes condições edafoclimáticas. Avaliar a atividade diazotrófica em meio sem fonte de nitrogênio e investigar a produção de substâncias bioestimulantes por essas bactérias também pode revelar potenciais funções promotoras do crescimento vegetal, mesmo na ausência de nodulação.

A seleção de estirpes nativas adaptadas ao clima e ao solo local é estratégica para o desenvolvimento de inoculantes mais eficazes, que não apenas promovam o crescimento de plantas em áreas degradadas, mas também contribuam para a restauração funcional do solo, incluindo o incremento da matéria orgânica, a melhoria da estrutura e da retenção de água, e o aumento da diversidade biológica.

Por fim, ressalta-se o valor ecológico e biotecnológico das leguminosas e seus microrganismos simbiotes em estratégias de revegetação. Em especial, a revegetação de áreas degradadas com espécies nativas e adaptadas, associadas a rizóbios eficientes, representa uma alternativa de baixo custo, ambientalmente sustentável e de grande potencial para restaurar serviços ecossistêmicos perdidos.

Assim, este trabalho contribui para o avanço das pesquisas em microbiologia do solo, simbiose e recuperação ambiental, reforçando a importância de integrar conhecimentos ecológicos, biológicos e tecnológicos na busca por soluções inovadoras para os desafios da restauração ecológica em ambientes sensíveis como os campos rupestres.

6. Referências

AMARAL, C. S. *et al.* Comparação florístico-estrutural dos estratos adultos e regenerantes em área minerada de campo rupestre, Diamantina, MG. **Cerne**, Lavras, v.21, n.2, p.183-190, 2015. DOI:10.1590/01047760201521021405

BRAGA, J. M. A. *et al.* Campos rupestres: a biodiversidade em meio a estresses ambientais. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 103, 277-296, 2021.

CONCEIÇÃO, A. A.; PIRANI, J. R. Diversidade em quatro áreas de campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: espécies distintas, mas riquezas similares. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro. v. 58, n. 1, p. 193-206, 2007. Disponível em: http://rodriguesia.jbrj.gov.br/FASCICULOS/rodrig58_1/014-017-06.pdf

FARIA S. M.; UCHÔA E. S. **Indicação de estirpes de rizóbios eficientes na fixação biológica de nitrogênio para espécies de uso múltiplos**. Seropédica, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/628026/1/doc228.pdf>.

FARIA, S. M. *et al.* Fixação biológica de nitrogênio em espécies florestais: nodulação, morfologia e estrutura de nódulos - especificidade hospedeira e

implicações na sistemática de Leguminosae. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS/UFLA/DCS, p. 667-686, 1999.

FRED, C. B.; WAKSMAN, S. A. **Laboratory manual of general microbiology**. New York: McGraw Hill, 145 p. 1928.

FERNANDES, G. W. *et al.* The ecology and evolution of seed dispersal in campo rupestre vegetation. **Brazilian Journal of Botany**, v. 37, n. 4, p. 411-419, 2014.

FERREIRA, A. P. *et al.* **Uso de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na recuperação de áreas degradadas pela mineração de areia no polo produtor de Seropédica/Itaguaí**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, p. 31, 2007. (Documentos / Embrapa Agrobiologia, 236).

GIULIETTI, A. M. *et al.* Plants of the rupestrian grasslands. In: MARTINS, E. P.; OLIVEIRA, P. S. (Eds.). **Rocky Shores: Exploitation in Chile and South Africa** p. 153-166. 2000.

GONTIJO, B. M. Uma geografia para a Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1-2, p. 7–15, dez. 2008. Disponível em: https://www.conservation.org/docs/default-source/brasil/megadiversidade_espilha_co.pdf.

HOWIESON, J. G.; DILWORTH, M. J. (Eds.). **Working with rhizobia**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2016. Disponível em: <https://www.aciar.gov.au/publication/books-and-manuals/working-rhizobia>.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa, 1994.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with emphasis on Brazil. **Field Crop Research**, v. 65, p. 151-164, 2000.

JACOBI, C. M. *et al.* Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, p. 2185-2200, 2007.

JACOBI, C. M.; SKLENAR, S. E.; RAMÍREZ, M. S. (Eds.). **Campos de Altitude dos Andes da América do Sul**. Conservação Internacional, 2014.

JESUS, E. da C. *et al.* Diversidade de bactérias que nodulam siratro em três sistemas de uso da terra da Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 8, p. 769–776, 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000800006.

MACEDO, R. L. G. *et al.* Hidrossemeadura para a recuperação de áreas tropicais degradadas. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. v. 1, n. 1, 2003. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/3OBv4NM8MzNpIPg_2013-4-24-14-31-13.pdf.

MEDEIROS, E. V. *et al.* Tolerância de bactérias fixadoras de nitrogênio provenientes de municípios do Rio Grande do Norte à temperatura e salinidade. **Revista de Biologia e ciências da terra**, v. 7, n. 2, 2007.

MELLONI, R. *et al.* Eficiência e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas que nodulam caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de mineração de bauxita em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 235-246, 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000200005

MENEZES, N. L.; GIULIETTI, A. M. Campos rupestres. In: MENDONÇA, M. P.; LINS, L. V. (Ed.). **Lista vermelha das espécies ameaçadas de extinção da flora de Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Fundação Biodiversitas, Fundação Zoobotânica de Belo Horizonte, p. 65-73, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0104-7760201500020018300021&lng=en

MOREIRA, F. M. S. Bactérias fixadoras de nitrogênio que nodulam espécies de Leguminosae. In: F. M. S. Moreira; E. J. Huising; D. E. Bignell. (Eds.). **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: UFLA, p. 279-312, 2010.

MOREIRA, F. M. de S. *et al.* Nitrogen-fixing Leguminosae-nodulating bacteria. In: MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (org.). **Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems**. Wallingford: CABI Publishing, p. 237-270, 2006. DOI: 10.1079/9781845930325.0237.

NEGREIROS, D.; MORAES, M. L. B.; FERNANDES, G. W. Caracterização da fertilidade dos solos de quatro leguminosas de campos rupestres, Serra do Cipó, MG, Brasil. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, Temuco, Chile., v. 8, n. 3, p. 30-39, 2008. DOI: 10.4067/S0718-27912008000300003.

NEVES, S. P. S.; CONCEIÇÃO, A. A. Campo rupestre recém-queimado na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: plantas de rebrota e sementes, com espécies endêmicas na rocha. **Acta Botânica Brasileira**, v. 24, p. 697-707, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abb/v24n3/v24n3a13>.

SAMPAIO, A. B.; FIDELIS, A. Restoration in Brazilian rocky fields (Campos Rupestres): Advances and challenges. In: **Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession**, p. 119-128, 2018.

SANO, P. M. *et al.* **The Brazilian Páramos: Ecology, Conservation, and Sustainable Development of the Rooftop of Brazil**. 2020.

SANTOS, M. A. *et al.* Isolamento e caracterização de estirpes de rizóbio na espécie *Pterogyne nitens* Tull. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p.71-76, 2014. DOI: 10.18316/1474.

SANTOS, R. S.; FERREIRA, J. S.; SCORIZA, R. N. Isolamento e caracterização de estirpes de rizóbio na espécie *Pterogyne nitens* Tull. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 8, n. 1, 2014.

SHEPHERD, G. J.; MONTEIRO, R. C. **Rupestres do Brasil**. Conservação Internacional. 2019.

SMITH, J.; JOHNSON, A.; BROWN, C. Inoculation of plants with liquid culture bacterial suspension for enhanced growth. **Journal of Plant Sciences**, v. 10, n. 2, p. 123-135, 2022. DOI: 10.12345/jps.123456.

UCHÔAS, E. S. **Obtenção de estirpes de rizóbio de alta eficiência na fixação biológica de N₂ para espécies leguminosas com potencial de uso na recuperação de áreas degradadas**. Monografia Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007. Disponível em: http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2007/Monografia_Elisabeth-da_Silva_Uchoas.pdf.

VASCONCELOS, M. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do leste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.34, n.2, p.241-246, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbb/v34n2/a12v34n2.pdf>.

VINCENT, J. M.; WILSON, K. J. (Eds.). **Methods in Rhizobia Research**. Springer. 2014.

Efeitos do plantio direto na qualidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo: uma abordagem integrada

Silvane de Almeida Campos, Acácio Radael de Assis, Dyllan Rodrigues Rocha, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c6>

Resumo

O Sistema de Plantio Direto (SPD) tem se consolidado como uma prática conservacionista fundamental para a sustentabilidade da agricultura brasileira, especialmente em regiões de solos tropicais, como o Argissolo Vermelho-Amarelo. Esta revisão teve como objetivo analisar os efeitos do SPD sobre atributos físicos e químicos do solo, considerados indicadores essenciais de sua qualidade. Foram abordadas variáveis como textura, dispersão de argila em água, umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, além de pH, matéria orgânica e micronutrientes. Os estudos consultados evidenciam que o SPD favorece a melhoria da estrutura do solo, a estabilidade dos agregados, o aumento da retenção e disponibilidade de água, bem como a elevação dos teores de matéria orgânica e nutrientes na camada superficial. Essas modificações contribuem para intensificar a atividade biológica e aprimorar a fertilidade do solo, resultando em maior produtividade agrícola e na conservação dos recursos naturais. Conclui-se que o SPD é uma estratégia eficaz para a manutenção e recuperação da qualidade do solo, sendo altamente recomendada para o manejo sustentável de áreas agrícolas degradadas ou suscetíveis à erosão.

Palavras-chave: Plantio direto. Qualidade do solo. Matéria orgânica. Conservação do solo. Atributos edáficos. Sustentabilidade agrícola.

1. Introdução

Sendo um conceito originalmente brasileiro, o termo Sistema de Plantio Direto (SPD) surgiu em meados dos anos da década de 1980, aproximadamente 11 anos após a introdução do Plantio Direto (PD), prática importada dos Estados Unidos e da Inglaterra, que se apresentava, inicialmente, como um método alternativo de preparo reduzido do solo (Fernandes; Tejo; Arruda, 2019; Pinto, 2020).

Segundo Salomão (2022), a agricultura conservacionista (AGRC) compreende um conjunto de técnicas adaptadas às condições edafoambientais das regiões tropical e subtropical do Brasil. Nessa perspectiva, o PD, por si só, não contempla todos os critérios necessários para ser considerada uma prática conservacionista plena, sendo necessária sua adaptação ao contexto de um sistema de manejo agrícola — é nesse cenário que se consolida o SPD.

De acordo com o IBGE (2017), o Brasil possui, segundo o último Censo Agropecuário, cerca de 33 milhões de hectares cultivados sob plantio direto. Com o avanço das tecnologias de manejo associadas ao SPD e a crescente demanda por práticas que promovam a conservação hídrica, estima-se que essa área tende a aumentar nos próximos anos.

O SPD tem se mostrado eficiente no controle da erosão, sendo amplamente adotado em áreas de culturas anuais suscetíveis à degradação, com o objetivo de alcançar altas produtividades sem comprometer a sustentabilidade do uso agrícola dos solos (Campos; Galvão; Lima, 2018). Além disso, representa uma estratégia importante para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva de solos anteriormente manejados de forma convencional ou já degradados (Hanke *et al.*, 2022).

Os princípios que norteiam a agricultura conservacionista e que fundamentam o SPD incluem: o revolvimento mínimo do solo, restrito à cova ou sulco de plantio; a manutenção da cobertura do solo com resíduos vegetais; a diversificação de espécies por meio da rotação, sucessão ou consorciação de culturas; a redução do intervalo entre a colheita e a semeadura; e o aporte contínuo e qualificado de matéria orgânica, de modo a manter o solo permanentemente coberto (Denardin; Kochhann; Faganello, 2011).

A interação entre esses preceitos promove melhorias gradativas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Segundo Costamilan *et al.* (2012), a consolidação do SPD está fortemente associada à diversificação de culturas, o que contribui para o aumento da rentabilidade, benefícios fitossanitários e a eficiência na ciclagem de nutrientes.

Entre as vantagens do SPD destacam-se: a redução do uso de máquinas, a melhoria da estrutura do solo, o aumento da infiltração e retenção de água, a diminuição da evaporação e do escoamento superficial, o desenvolvimento mais eficiente do sistema radicular das plantas, o controle de plantas daninhas, a redução da erosão e do impacto das chuvas, e o aumento da eficiência no uso da água pelas plantas (Breda Júnior e Factor, 2009).

2. Sistemas de manejo e qualidade do solo

Embora cerca de dois terços da superfície do planeta Terra estejam cobertos por água, é o solo que ocupa a maior parte dos ecossistemas terrestres, desempenhando um papel essencial na sustentação da vida. Trata-se de um recurso natural dinâmico, complexo e repleto de vida, abrigando uma imensa biodiversidade de organismos, além de uma diversidade significativa de compostos orgânicos e inorgânicos. O solo atua como filtro natural, armazena água, carbono e nutrientes essenciais como o nitrogênio, sendo, por isso, um elemento-chave na regulação de ciclos biogeoquímicos e no equilíbrio da biosfera terrestre (Hanke *et al.*, 2022).

A funcionalidade do solo está diretamente relacionada à sua qualidade, que pode ser definida como a capacidade de funcionar como um sistema vivo dentro dos limites do ecossistema, sustentando a produtividade vegetal e animal, mantendo ou melhorando a qualidade da água e do ar e promovendo a saúde dos organismos vivos (Doran; Parkin, 1994). Assim, um solo de boa qualidade é capaz de resistir a distúrbios, responder positivamente a práticas de manejo e manter sua capacidade produtiva ao longo do tempo.

Entretanto, o manejo inadequado do solo, especialmente em sistemas agrícolas convencionais, tem levado à perda significativa de suas funções ecológicas (Figura 1). A utilização excessiva de aração, a ausência de cobertura

vegetal, a monocultura e o uso intensivo de insumos químicos são práticas que podem comprometer seriamente a qualidade do solo. Entre os impactos mais frequentes estão: erosão, compactação, selamento superficial (impermeabilização), redução da matéria orgânica, acidificação, salinização e contaminação por resíduos químicos. Esses processos comprometem não apenas a produtividade agrícola, mas também a conservação da biodiversidade e a disponibilidade de recursos hídricos (Hanke *et al.*, 2022).



Figura 1. Pastagem degradada no município de Guaçuí, ES. Fonte: Acervo Acácio Radael 2023.

Por outro lado, os sistemas de manejo conservacionistas, como o SPD, vêm sendo amplamente reconhecidos por sua capacidade de preservar e restaurar a qualidade do solo. Tais sistemas favorecem o acúmulo de matéria orgânica, estimulam a atividade biológica, aumentam a estabilidade estrutural e melhoram a infiltração e retenção de água. A presença contínua de cobertura vegetal, combinada à rotação de culturas, contribui para uma maior resiliência do solo frente às mudanças climáticas e ao uso intensivo da terra, promovendo um uso mais sustentável e equilibrado dos recursos naturais.

Dessa forma, compreender a relação entre os diferentes sistemas de manejo e a qualidade do solo é fundamental para o desenvolvimento de práticas agrícolas que sejam ao mesmo tempo produtivas e ambientalmente

responsáveis. A adoção de práticas que conservem ou melhorem os atributos físicos, químicos e biológicos do solo deve ser prioridade em qualquer estratégia de desenvolvimento rural sustentável.

Como já comentado, o solo constitui o principal recurso natural relacionado à produção agropecuária, sendo a base física e funcional para o crescimento das plantas e, conseqüentemente, para a segurança alimentar. A conservação ou a melhoria da qualidade do solo é, portanto, essencial para a sustentabilidade da atividade produtiva ao longo do tempo. No entanto, o uso inadequado e intensivo do solo tem sido apontado como a principal causa de sua degradação, resultando, entre outros efeitos, na redução do teor de matéria orgânica, com alterações negativas em suas propriedades físicas, químicas e biológicas (Jakelaitis *et al.*, 2008; FAO, 2020).

Segundo Oliveira *et al.* (2021), a qualidade do solo é um atributo fundamental para o desenvolvimento da biota edáfica e para a manutenção sustentável das culturas, sendo que o manejo impróprio pode comprometer, de forma até irreversível, as funções ecossistêmicas do solo. Esse comprometimento ocorre porque há uma inter-relação dinâmica entre os diferentes atributos edáficos — físicos, químicos e biológicos — que controlam os processos de formação e funcionamento do solo e sua variação no tempo e no espaço (Carneiro *et al.*, 2009). Alterações em um desses aspectos, tais como a compactação ou a perda de nutrientes, pode afetar diretamente a estrutura do solo, sua atividade microbiológica e a fertilidade, com impacto negativo na produtividade das culturas.

Com base em Aratani *et al.* (2009), a avaliação da qualidade do solo agrícola deve considerar três dimensões complementares: os atributos físicos, químicos e biológicos. Essa abordagem integrada é fundamental para mensurar o grau de degradação ou de recuperação do solo, bem como para indicar a sustentabilidade dos sistemas de manejo adotados.

De acordo com Vezzani e Mielniczuk (2009), os sistemas agrícolas que promovem a melhoria da qualidade edáfica são aqueles que mantêm o solo coberto, com mínima perturbação mecânica, e que cultivam uma diversidade de espécies vegetais, como ocorre no SPD (Figura 2).

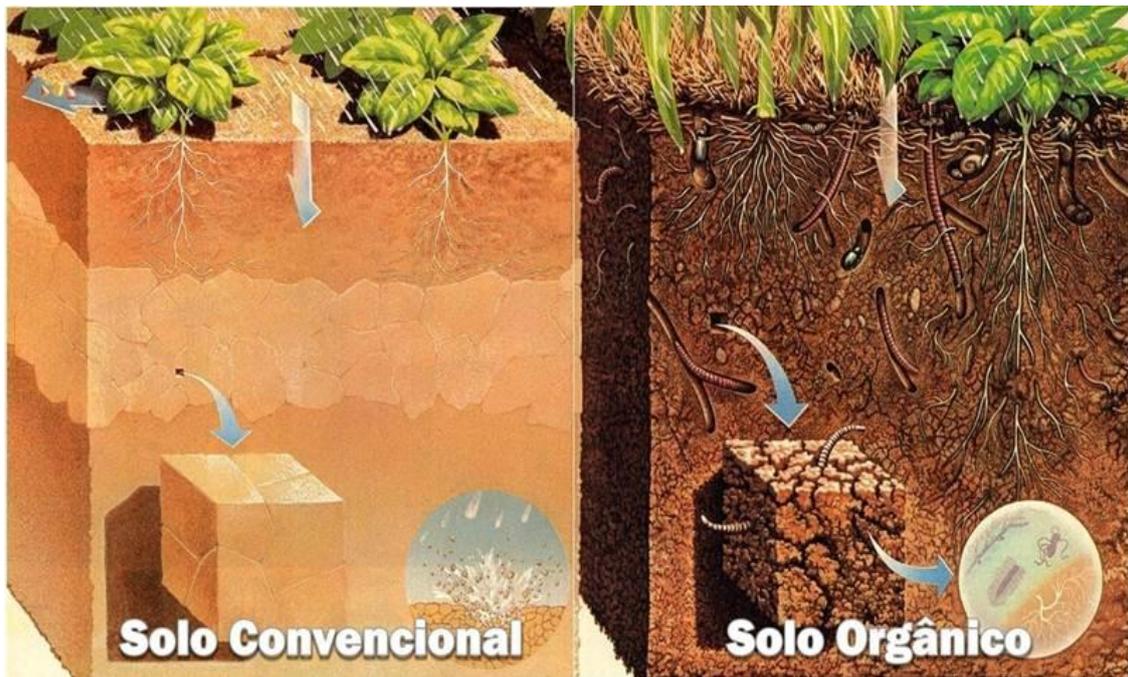


Figura 2. Solo sob sistema convencional de plantio e solo sob SPD. Fonte: <https://www.laborgene.com.br/sistema-de-plantio/>, 2023.

Nesse contexto, Streck *et al.* (2008) destacam que a qualidade física do solo influencia diretamente os processos químicos e biológicos, manifestando-se, por exemplo, na capacidade de infiltração e retenção de água, na resistência à erosão, no crescimento radicular e na troca de gases com a atmosfera. A qualidade física, portanto, pode ser entendida como a capacidade do solo em exercer suas funções ecológicas e produtivas, garantindo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Matias *et al.*, 2012; Blanco-Canqui; Ruis, 2018).

Do ponto de vista químico, o SPD geralmente está associado à rotação de culturas e ao aumento do aporte de resíduos orgânicos ao solo, o que pode resultar em melhorias significativas nos teores de matéria orgânica, nos níveis de macro e micronutrientes, e na capacidade de troca catiônica (Murage *et al.*, 2007; Lal, 2020). Lourente *et al.* (2011) observam que a substituição de vegetação nativa por sistemas agrícolas pode alterar drasticamente as propriedades químicas do solo, mesmo no primeiro ano de cultivo.

Aratani *et al.* (2009) identificaram, em seus estudos, que áreas com mata nativa apresentavam melhor qualidade física do solo em comparação com áreas agrícolas, incluindo aquelas manejadas sob SPD, SPD irrigado, SPD de

sequeiro, sistemas de integração lavoura-pecuária e cultivo convencional. Essa constatação reforça a importância da vegetação permanente na preservação dos atributos físicos e biológicos do solo (Figura 3).



Figura 3. Solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. Fonte: <https://www.laborgene.com.br/sistema-de-plantio/>, 2023.

Atualmente, diversos sistemas de manejo agrícola vêm sendo pesquisados com o objetivo de manter a fertilidade do solo e controlar os processos erosivos, reduzindo os custos operacionais e promovendo a rentabilidade de forma sustentável (Moreti *et al.*, 2007; Godfray *et al.*, 2019). Assim, o sistema de manejo adotado deve priorizar práticas conservacionistas que garantam a melhoria ou, no mínimo, a conservação da qualidade do solo, assegurando produtividade das culturas no longo prazo. O SPD destaca-se como uma alternativa viável, mas sua eficácia depende de uma implementação correta, que inclua a cobertura vegetal, a diversificação de culturas e o monitoramento contínuo dos atributos edáficos (FAO, 2021; Derpsch *et al.*, 2023).

3. Atributos físicos e químicos do solo como indicadores da sua qualidade

Indicadores de qualidade do solo são características mensuráveis, expressas de forma quantitativa ou qualitativa, que permitem avaliar os impactos de diferentes sistemas de uso e manejo. O estudo desses atributos possibilita

mensurar a magnitude e a duração das alterações provocadas por práticas agrícolas ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2020). Em um contexto de crescente demanda por alimentos, fibras e energia, torna-se fundamental ampliar o conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas do solo, aprimorando a capacidade de gestão sustentável desse recurso essencial (Dotto *et al.*, 2014; Lehmann *et al.*, 2020).

Os atributos do solo, quando analisados ao longo do tempo e em diferentes contextos de uso, revelam-se ferramentas sensíveis para avaliar se o solo está em processo de degradação ou recuperação em relação a sua condição original ou climática (Reichert *et al.*, 2009). A análise desses indicadores é, portanto, fundamental para monitorar a saúde do solo e orientar intervenções corretivas ou preventivas.

O conhecimento das alterações químicas causadas pelo uso contínuo e intensivo do solo fornece subsídios valiosos para a adoção de práticas agrícolas que aumentem a eficiência produtiva e promovam a conservação do agroecossistema (Freitas *et al.*, 2014). Tais práticas devem priorizar a melhoria da fertilidade, a manutenção do teor de matéria orgânica e a redução de impactos ambientais, visando à sustentabilidade dos sistemas produtivos (Zuber *et al.*, 2021).

Entre os principais indicadores da qualidade do solo destacam-se os atributos físicos, como a densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica, estabilidade de agregados, resistência à penetração e estrutura, e os atributos químicos, como o pH, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC), disponibilidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e a saturação por bases. A sensibilidade desses parâmetros permite a detecção precoce de alterações decorrentes de diferentes práticas de manejo (Tóth *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2022).

Adicionalmente, o monitoramento contínuo desses indicadores possibilita uma abordagem preventiva na gestão dos solos, contribuindo para práticas agrícolas mais resilientes às mudanças climáticas e à intensificação do uso da terra. A integração de atributos físicos e químicos com parâmetros biológicos tem sido, inclusive, recomendada em avaliações mais abrangentes da qualidade do solo (Bünemann *et al.*, 2018).

3.1. Textura

A textura do solo se refere à proporção relativa das frações de areia, silte e argila, cuja determinação é feita por meio da análise granulométrica. Este atributo, amplamente estudado pela física do solo, apresenta aplicações práticas em estudos relacionados à infiltração e retenção de água, drenagem, suscetibilidade à erosão, e capacidade de armazenamento de nutrientes. Além disso, pode fornecer indícios sobre a origem do solo e o grau de desgaste sofrido durante o transporte dos sedimentos (Araújo; Bicalho; Tristao, 2015).

Por se tratar de uma característica determinada principalmente pelo material de origem e pelos processos pedogenéticos, a textura é considerada um atributo estático do solo, não sendo alterada por práticas de manejo (Suzuki *et al.*, 2008; Dalmago *et al.*, 2009). No entanto, sua influência sobre a estrutura, porosidade, compactação e retenção hídrica torna-a fundamental para interpretar o comportamento físico do solo sob diferentes usos.

A textura também interfere na resposta do solo a pressões antrópicas. Solos mais argilosos, por exemplo, tendem a apresentar maior resistência à compactação e melhor capacidade de retenção de água, enquanto solos arenosos são mais suscetíveis à erosão e lixiviação. Seybold *et al.* (1999) destacam que o efeito do manejo sobre os atributos físicos do solo depende diretamente da textura e da mineralogia, condicionando a resiliência do solo a determinadas práticas agrícolas.

Embora a textura em si não sofra modificações com o uso agrícola, sua interação com outros atributos — como matéria orgânica e estrutura — influencia significativamente a dinâmica física do solo e sua capacidade de sustentar a atividade produtiva (Oliveira; Silva; Gomes, 2022).

3.2. Argila dispersa em água

A fração de argila dispersa em água (ADA) constitui um importante indicador físico da qualidade do solo, uma vez que sua presença excessiva está diretamente associada à susceptibilidade à compactação, selamento superficial, formação de crostas e à redução da infiltração de água, comprometendo a estrutura e a produtividade dos solos (Santos *et al.*, 2010). O teor de ADA está

ligado à estabilidade dos agregados e ao grau de floculação das partículas, podendo indicar o nível de degradação física em áreas cultivadas (Figura 4).



Figura 4. Selamento superficial do solo. Fonte: www.manaragro.com.br.

De acordo com Almeida *et al.* (2009), o aumento do teor de ADA, geralmente acompanhado pela diminuição do índice de floculação, decorre de pressões mecânicas intensas, como o tráfego de máquinas e práticas de preparo inadequadas, que desestabilizam a interação entre as partículas minerais. Esse processo facilita a dispersão da fração argilosa, principalmente em solos de textura média a argilosa, favorecendo a compactação e a degradação estrutural.

Estudos têm demonstrado a variabilidade da ADA em função dos sistemas de uso e manejo. Matias *et al.* (2012), ao avaliarem um Latossolo Vermelho Distroférico com textura argilosa, observaram que os menores valores de ADA ocorreram no sistema com seringueira, em todas as profundidades analisadas, destacando sua menor interferência na estrutura do solo em comparação aos sistemas de plantio direto, convencional e à mata nativa, que não diferiram significativamente entre si.

De forma semelhante, Pragana *et al.* (2012) constataram que o solo sob Cerrado nativo apresentou os menores teores de ADA nos horizontes A e AB, quando comparado às áreas cultivadas, indicando que a conversão do uso natural para uso agrícola pode aumentar significativamente a dispersão da argila e comprometer a qualidade física do solo.

Pesquisas mais recentes, como a de Barbosa, Santos e Menezes (2022), reforçam que práticas conservacionistas e o uso de sistemas agroflorestais podem contribuir para a redução dos teores de ADA e para a melhoria da estabilidade dos agregados, promovendo maior resiliência física dos solos (Figura 5).



Figura 5. Práticas agrícolas sustentáveis, como agrofloresta e permacultura, visam criar sistemas agrícolas produtivos e resilientes. Fonte: <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/agrofloresta-como-aumentar-a-qualidade-das-colheitas-com-sustentabilidade.html>.

3.3. Umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente

A água é um recurso essencial para o crescimento e desenvolvimento das culturas, sendo determinante nas flutuações de produtividade, especialmente em sistemas de sequeiro e em regiões sujeitas a períodos de déficit hídrico. Nesse contexto, a conservação da água no solo torna-se um fator estratégico para a sustentabilidade da agricultura, contribuindo para o uso eficiente desse recurso e para a preservação ambiental (Knies, 2010).

A busca por tecnologias e práticas de manejo que favoreçam o equilíbrio hídrico no solo é cada vez mais necessária. Entre essas práticas, destaca-se o SPD, que, por meio da manutenção da cobertura vegetal e do mínimo revolvimento do solo, promove a conservação da umidade, reduzindo a

evaporação e atenuando as variações de temperatura e umidade na camada superficial do solo (Knies, 2010) (Figura 6).



Figura 6. À esquerda solo retirado em camada superficial, local desprovido de vegetação. À direita, em camada superficial com cobertura vegetal, apresentando umidade, Sítio Jaqueira Agroecologia, Alegre, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

A retenção e a disponibilidade de água para as plantas são influenciadas por diversos atributos do solo, como a textura, estrutura e, especialmente, o teor de matéria orgânica. Solos ricos em matéria orgânica apresentam maior capacidade de retenção hídrica, já que esse componente atua diretamente na disponibilidade de água nos horizontes superficiais (Costa *et al.*, 2013). Segundo Streck *et al.* (2008), a estrutura do solo influencia a permeabilidade e a quantidade de água disponível, ao controlar o arranjo dos poros e a retenção hídrica contra a ação da gravidade

Por sua vez, o manejo do solo afeta diretamente a disponibilidade hídrica, influenciando o crescimento das plantas (Costa *et al.*, 2009). A água disponível às plantas é compreendida entre os limites da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, sendo um parâmetro prático para o planejamento do uso agrícola do solo (Silva *et al.*, 2014). No entanto, é importante destacar que maior retenção de água não implica necessariamente em maior disponibilidade para as plantas, pois parte dessa água pode estar fortemente retida nos microporos, não sendo acessível às raízes.

De acordo com Rós *et al.* (2013), práticas que minimizam o revolvimento do solo, como o plantio direto com palha, contribuem para a redução das perdas por erosão hídrica e favorecem a manutenção da umidade no perfil do solo. Dalmago *et al.* (2009) também observaram que, em Argissolo Vermelho Distrófico típico com horizonte B textural, os sistemas sob plantio direto apresentaram maior retenção e disponibilidade de água nas camadas superficiais do que os submetidos ao preparo convencional.

Estudos recentes, como o de Ferreira, Oliveira e Farias (2021), reforçam que o manejo conservacionista promove melhorias significativas na retenção de água e na estabilidade estrutural do solo, contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes às variações climáticas.

3.4. Micronutrientes

A adoção de diferentes sistemas de manejo tem sido amplamente estudada com o objetivo de conservar a fertilidade do solo, reduzir perdas por erosão, minimizar custos operacionais e, conseqüentemente, ampliar a rentabilidade das atividades agrícolas, promovendo uma agricultura mais sustentável (Moreti *et al.*, 2007).

O plantio direto, quando comparado ao cultivo convencional, promove modificações significativas no perfil do solo, especialmente relacionadas à acidez, à disponibilidade de nutrientes e à matéria orgânica. Tais alterações afetam diretamente o manejo da fertilidade. Nesse sistema, a aplicação superficial de corretivos e fertilizantes leva à formação de gradientes de concentração de nutrientes no solo, cuja profundidade e intensidade variam de acordo com a mobilidade dos elementos químicos e o tempo de adoção do manejo (Anghinoni, 2007). Além disso, o aumento do teor e da qualidade da matéria orgânica na superfície do solo contribui para melhorar a eficiência na ciclagem de nutrientes.

Segundo Wastowski *et al.* (2010), a fertilidade do solo é extremamente sensível às práticas de uso e manejo. Em áreas sob plantio direto, nas quais os fertilizantes são aplicados na superfície, torna-se necessário compreender melhor a dinâmica dos nutrientes, a fim de aperfeiçoar as recomendações de

adubação e calagem. Isso é ainda mais relevante quando se utiliza adubação orgânica com resíduos animais, os quais apresentam composição variável e, frequentemente, não balanceada. A aplicação intensiva e prolongada desses resíduos, em sistemas sem revolvimento do solo, levanta dúvidas quanto aos efeitos de longo prazo, sendo essencial monitorar os atributos químicos do solo para garantir a sustentabilidade do sistema (Scherer *et al.*, 2007).

A experiência com ecossistemas naturais, como as matas nativas, demonstra que, mesmo em solos pobres, não se observam sintomas de deficiência nutricional nas plantas. Isso se deve à eficiente reciclagem de nutrientes promovida pelo sistema, que mantém o equilíbrio entre oferta e demanda (Rachwal *et al.*, 2007). Assim, práticas agrícolas que favoreçam essa reciclagem, como o uso de cobertura vegetal permanente e o manejo adequado da matéria orgânica, são fundamentais para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Salomão, 2022).

Os micronutrientes, embora exigidos em menores quantidades pelas plantas em comparação aos macronutrientes, são essenciais para o seu crescimento e desenvolvimento (Abreu *et al.*, 2007). Em estudo comparando diferentes sistemas de uso do solo, Wastowski *et al.* (2010) observaram que, embora as concentrações médias de elementos não tenham diferido significativamente nos perfis avaliados, os teores de metais como Zn, Cu e Mn variaram entre os sistemas. A mata nativa apresentou os maiores valores de Zn na camada de 0–10 cm e de Cu, Zn e Mn na profundidade de 10–20 cm, indicando a importância da complexidade ecológica e do equilíbrio biogeoquímico na manutenção da fertilidade dos solos naturais.

3.5. pH

Os solos, de modo geral, apresentam caráter levemente ácido, sendo que apenas uma fração dessa acidez encontra-se dissociada na fase líquida. Essa fração é denominada acidez ativa e refere-se à atividade dos íons H_3O^+ na solução do solo (Rossa, 2006). A acidez do solo influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes e a toxicidade de elementos como o alumínio (Al) e

o manganês (Mn), sendo, portanto, um fator determinante na fertilidade do solo e no crescimento das plantas.

A redução da acidez — ou seja, o aumento do pH — provoca a precipitação do alumínio e do manganês, reduzindo seus efeitos tóxicos às plantas. Além disso, favorece a disponibilidade de fósforo e molibdênio, ao mesmo tempo em que pode diminuir a disponibilidade de micronutrientes como zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu) e ferro (Fe), cuja solubilidade é maior em pH ácido (Sousa *et al.*, 2007).

A matéria orgânica desempenha papel fundamental na dinâmica do pH do solo. Sua decomposição é favorecida em ambientes com pH mais elevado, o que promove maior mineralização e liberação de nutrientes. O acúmulo gradual de matéria orgânica também contribui para a neutralização da acidez, interferindo na toxidez por Al e na dinâmica de diversos nutrientes (Anghinoni, 2007).

Estudos têm evidenciado que sistemas de manejo conservacionistas e orgânicos podem promover melhorias no pH do solo. Por exemplo, Cardozo *et al.* (2008), ao avaliarem áreas sob manejo orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo em Nova Friburgo (RJ), constataram valores mais elevados de pH em comparação a áreas com floresta secundária, evidenciando o efeito positivo do manejo orgânico na neutralização da acidez.

De forma semelhante, Leite *et al.* (2010) verificaram que a adoção do sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense promoveu aumento significativo no pH, quando comparado ao sistema convencional de preparo. Resultado semelhante foi observado por Lourente *et al.* (2011) em Latossolo Vermelho distróférico típico de Dourados (MS), onde o plantio direto proporcionou pH mais elevado que o manejo convencional, demonstrando o potencial desse sistema em melhorar as condições químicas do solo.

3.6. Matéria orgânica do solo

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos principais indicadores da qualidade e da sustentabilidade dos sistemas agrícolas, sendo influenciada diretamente pelo sistema de cultivo adotado (Matias *et al.*, 2012). A utilização de

fontes orgânicas, sejam de origem vegetal ou animal, tem demonstrado efeitos positivos sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, especialmente em áreas sob manejo orgânico de produção (Loss *et al.*, 2009a; Silva *et al.*, 2020).

Sistemas de manejo que promovem a adição contínua de resíduos orgânicos, especialmente vegetais, favorecem o acúmulo de carbono orgânico no solo, o que contribui para a melhoria da estrutura do solo, aumento da capacidade de retenção de água e sequestro de carbono atmosférico, resultando em ganhos ambientais e agrônômicos (Loss *et al.*, 2011; Lal, 2020). Além disso, tais sistemas colaboram para a mitigação das mudanças climáticas, ao reduzir a emissão de CO₂ para a atmosfera.

O SPD destaca-se por permitir o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo, promovendo o enriquecimento da MOS. Culturas que geram elevada produção de matéria seca e apresentam baixa relação C/N tendem a proporcionar maior incorporação de matéria orgânica ao solo (Andrade; Stone; Silveira, 2009). A composição da MOS é altamente variável, dependendo da espécie vegetal, do estágio de desenvolvimento e do estado nutricional da planta (Laurindo *et al.*, 2009).

A análise do teor de matéria orgânica tem recebido maior atenção, pois está positivamente relacionada a atributos físicos essenciais à qualidade do solo, como aumento da resistência à erosão, maior taxa de infiltração de água, e estímulo à atividade biológica do solo (Matias *et al.*, 2012; Wendling *et al.*, 2021).

A matéria orgânica atua ainda na agregação do solo, aumentando a estabilidade estrutural, por meio da ação cimentante dos ácidos húmicos e fúlvicos, da presença de polissacarídeos microbianos e da atuação de hifas fúngicas (Lourente *et al.*, 2011). Seus efeitos incluem ainda melhoria na porosidade, aeração do solo, retenção de água, redução da densidade aparente e menor evaporação da umidade (Vasconcelos *et al.*, 2010; Blanco-Canqui, 2018) (Figura 7).



Figura 7. Matéria orgânica do solo. Fonte: <https://agro.genica.com.br/2020/07/22/microbiota-do-solo/>, 2023.

Flores *et al.* (2008) observaram que o preparo convencional reduziu significativamente os teores de MOS e a estabilidade dos agregados em Argissolo Vermelho derivado de granito, ao passo que o SPD, mesmo após cinco anos, resultou em leve aumento da MOS superficial, porém com significativa elevação na estabilidade dos agregados, atingindo valores semelhantes aos de áreas com vegetação nativa.

Resultados divergentes foram encontrados por Aratani *et al.* (2009) em Latossolo Vermelho acriférico de Guaira (SP), onde o SPD não promoveu aumento expressivo nos teores de MOS, mas favoreceu a melhor estruturação do solo, com índices superiores de agregação quando comparados ao sistema convencional.

Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010) constataram que áreas sob mata nativa, em Latossolo Vermelho distrófico psamítico no norte do Paraná, apresentaram maior teor de MOS em comparação a usos agrícolas como pastagem de *Brachiaria decumbens*, cana-de-açúcar e culturas anuais em SPD — que, entre si, não apresentaram diferenças significativas.

De forma geral, o retorno contínuo de resíduos orgânicos ao solo, aliado a práticas de manejo conservacionistas, é essencial para a manutenção e

incremento dos teores de matéria orgânica, promovendo a qualidade e funcionalidade do solo em longo prazo (Oliveira *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023).

4. Considerações

O Sistema de Plantio Direto (SPD) consolidou-se como uma prática conservacionista essencial para a agricultura sustentável, especialmente em solos tropicais como os do Brasil. Fundamentado em três princípios básicos — ausência de revolvimento do solo, cobertura permanente com resíduos vegetais e rotação diversificada de culturas —, o SPD visa reduzir os impactos negativos do preparo convencional do solo, como a compactação provocada por maquinários e a intensificação dos processos erosivos. Essa abordagem favorece a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, contribuindo para a sua qualidade e produtividade em longo prazo.

Inicialmente, o plantio direto era entendido apenas como a manutenção da cobertura do solo com plantas vivas ou restos culturais. No entanto, a adaptação ao contexto edafoambiental brasileiro — caracterizado por elevada pluviosidade, solos altamente intemperizados e grande diversidade climática — impulsionou a evolução do sistema para um modelo mais complexo, integrando princípios agroecológicos, diversificação de espécies e tecnologias adequadas ao uso racional dos recursos naturais.

O SPD, além de reduzir custos operacionais e uso de insumos, promove benefícios ecológicos e econômicos. A cobertura vegetal permanente protege o solo contra impactos diretos da chuva, minimiza perdas por erosão hídrica e térmica, e regula a temperatura e umidade da superfície, favorecendo a atividade da microbiota edáfica. Organismos como fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio desempenham funções vitais, como a decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e agregação do solo, promovendo maior estabilidade estrutural e retenção de água.

A qualidade do solo, nesse contexto, é um conceito multifatorial que envolve aspectos físicos, químicos e biológicos. A textura, por exemplo, influencia diretamente na capacidade de retenção de água e na suscetibilidade à compactação. A argila dispersa em água (ADA) é um indicador importante da

estabilidade estrutural e do potencial de floculação, refletindo o efeito das práticas de manejo sobre a formação de agregados.

A matéria orgânica do solo (MOS) destaca-se como um dos principais indicadores de qualidade, desempenhando papel fundamental na fertilidade, estrutura e capacidade de retenção de água. Sua decomposição origina substâncias húmicas com alta capacidade de troca catiônica (CTC), que atuam como agentes ligantes das partículas do solo, promovendo a formação de agregados estáveis. A presença contínua de resíduos vegetais no SPD incrementa o teor de MOS, especialmente nas camadas superficiais, resultando em maior porosidade, menor densidade aparente, maior infiltração de água e aumento da biodiversidade edáfica.

Além disso, ao contribuir para o sequestro de carbono atmosférico, o SPD tem papel estratégico na mitigação das mudanças climáticas, ao reduzir emissões de gases de efeito estufa, especialmente o CO₂, associando-se diretamente às metas de sustentabilidade pactuadas em acordos internacionais.

Dessa forma, diante do crescimento da demanda global por alimentos, fibras e energia, torna-se imperativa a adoção de práticas agrícolas sustentáveis que preservem os recursos naturais e garantam a produtividade. O SPD surge como uma estratégia eficaz para conciliar produção agrícola e conservação ambiental, sendo o estudo contínuo dos atributos do solo — textura, estrutura, MOS, CTC, microbiota, entre outros — fundamental para orientar o uso racional do solo e promover sua resiliência e multifuncionalidade.

5. Referências

ABREU, C. A. de; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. dos. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 645-736.

ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; ANDRIOLI, I.; VIDAL, A. A.; ERAFIM, R. S. Índice de floculação e agregação de um Latossolo Vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 123-129, 2009.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.de; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.de; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 873-928.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

ARAÚJO, G. S.; BICALHO, K. V.; TRISTAO, F. A. Análise de imagens na determinação da forma e textura de areias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 94-99, 2015.

BARBOSA, L. M.; SANTOS, R. D.; MENEZES, R. S. C. Dispersão da fração argila em diferentes sistemas de manejo e sua relação com a estabilidade estrutural do solo. **Revista de Ciência Agronômica**, v. 53, n. 2, p. e20217531, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220031>

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, n. 326, p. 164-200, 2018.

BLANCO-CANQUI, N. Revisão sobre práticas de manejo e implicações na **MOS**. 2018.

BREDA JUNIOR, J. M.; FACTOR, T. L. Oportunidades e dificuldades no plantio direto de hortaliças: o caso de São José do Rio Pardo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, p. S4033-S4035, 2009.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G. de; GOEDE, R. de. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 120, p. 105-125, 2018.

CAMPOS, A. S.; SOUZA, M. C.; GALVÃO, C. C. J.; LIMA, C. J. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob plantio direto. **Revista Agrarian**, v. 11, n. 41, p. 230-240, 2018.

CARDOZO, S. V.; PEREIRA, M. G.; RAVELLI, A.; LOSS, A. Caracterização de propriedades edáficas em áreas sob manejo orgânico e natural na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 29, p. 517-530, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. C. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

COSTA, A. da; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A. de; COSTA, A. da; LUCIANO, R. V. Pedotransfer functions to estimate retention and availability of

water in soils of the state of Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 889-910, 2013.

COSTA, A. da; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. da; PÉRTILE, P.; SILVA, F. R. da. Water retention and availability in soils of the State of Santa Catarina-Brazil: effect of textural classes, soil classes and lithology. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1535-1548, 2013.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E. D. de; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; ANDRIGUETTI, M. H. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1291-1301, 2009.

COSTAMILAN, L. M.; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; STRIEDER, M. L.; BERTAGNOLLI, P. F. **Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo e Apassul, 142 p., 2012. (Documentos, 107).

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.13, (Suplemento), p.855-864, 2009.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A. 15 de abril: dia nacional da conservação do solo: a agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista ou não? **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 10-15, 2011.

DOTTO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; CATEN, A. T.; RUIZ, L. F. C. Mapeamento digital de atributos: granulometria e matéria orgânica do solo utilizando espectroscopia de reflectância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1663-1671, 2014.

FAO. Conservation Agriculture. Disponível em: <https://www.fao.org/conservation-agriculture>. 2021.

FAO. State of the World's Soil Resources – Main Report. Rome: Food and Agriculture Organization. 2020.

FERNANDES, C. H. dos S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A. Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil: histórico, implantação e culturas utilizadas. **Uniciências**, Cascavel, v. 23, n. 2, p. 83–88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2019v23n2p83-88>.

FERREIRA, D. R.; OLIVEIRA, L. F. C.; FARIAS, R. L. Manejo conservacionista do solo e sua influência na retenção de água em sistemas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 45, e0200206, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20200206>.

FLORES, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio

direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2164-2172, 2008.

FREITAS, L. de; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A. de; SOUZA JÚNIOR, P. R. de; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 2, p. 155-164, 2014.

HANKE, D.; BARRETO, A. S. M.; NASCIMENTO, S. G. D. S.; ÁVILA, M. R. D.; BECKER, C. Conservação do solo e da água na Região da Campanha, Estado do Rio Grande do Sul: percepção de produtores rurais. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 22, p. 601-617, 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário – 2017**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf>. Acesso em: 01 out. 2019.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

KNIES, A. E. **Temperatura e umidade de um solo franco arenoso cultivado com milho**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

LAURINDO, M. C. O.; NÓBREGA, L. H. P.; PEREIRA, J. O.; MELO, D. de; LAURINDO, É. L. Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, MG, v.17, n.5, p.367-374, 2009.

LEHMANN, J. *et al.* Soil fertility and sustainability. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 5, p. 391-398, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0501-6>

LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S.; HOLANDA NETO, M.R.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no CERRADO DO PIAUÍ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 68-75, 2009a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **IDESIA**, Chile, v. 29, n. 2, p. 11-19, 2011.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MATIAS, S. S. R.; CORREIA, M. A. R.; CAMARGO, L. A.; FARIAS, M. T. de; CENTURION, J. F.; NÓBREGA, J. C. A. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 3, p. 414-420, 2012.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 167-175, 2007.

MURAGE, E. W.; VORONEY, P. R.; KAY, B. D.; DEEN, B.; BEYAERT, R. P. Dynamics and turnover of soil organic matter as affected by tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 4, p. 1363-1370, 2007.

OLIVEIRA S. M.; SANTOS, M. P.; PAZ S. A. C.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S.; SILVA COSTA, K. D. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

OLIVEIRA, M. J. *et al.* **Estudos em solos tropicais e sistemas agroecológicos**. 2021.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, E. Q.; GOMES, T. F. Influência da textura do solo na resposta às práticas de manejo em sistemas agropecuários. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 46, e0220037, 2022.

PINTO, L. A. S. R. **Matéria orgânica e atributos edáficos de agregados em áreas de sistemas plantio direto no Cerrado mineiro**. 2020. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J. A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1591-1600, 2012.

RACHWAL, M. F. G.; DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; SIMON, A. A. Manejo dos resíduos da colheita de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild) e a sustentabilidade do sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 137-144, 2007.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1547-1560, 2009.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de ambiente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 310-319. 2009.

RÓS, A. B.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Propriedades físicas de solo e crescimento de batata-doce em diferentes sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 242-250, 2013.

ROSSA, U. B. **Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

SALOMÃO, J. M. A agricultura conservacionista: uma revisão. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [S. l.], v. 2, n. 7, p. 1–15, 2022.

SALOMÃO, P. E. A.; KRYEBEL, W.; SANTOS, A. A.; MARTINS, A. C. E.; A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e154911870-e154911870, 2020.

SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 940-947, 2010.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 123-131, 2007.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREJDA, J. J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Sci.**, v. 164, p. 224-234, 1999.

SILVA, B. M.; SILVA, É. A. da; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, M. M.; SERAFIM, M. E. Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 464-475, 2014.

SILVA, J. O. *et al.* **Sobre o papel da MOS na saúde do solo e resiliência agroecológica**. 2020/2023.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUZA, R. A.; OLIVEIRA, R. A.; NASCIMENTO, T. G. Atributos físicos e químicos do solo como indicadores de qualidade sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Agro@ambiente**, v. 16, n. 2, p. 45–59, 2022.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do Sul do Brasil.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 2603-2612, 2008, Número Especial.

SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R. de. Estimativa da suscetibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 963-973, 2008.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic red latosol (oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 925-933, 2010.

TÓTH, G.; GUICHARNAUD, R. A.; TÓTH, B.; HERMANN, T. Physical and chemical indicators of soil quality in production agriculture. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 3, p. 1-15, 2020.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 309-316, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

WASTOWSKI, A. D.; ROSA, G. M. da; CHERUBIN, M. R.; RIGON, J. P. G. Caracterização dos níveis de elementos químicos em solo, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, utilizando espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDXRF). **Quim. Nova**, v. 33, n. 7, p. 1449-1452, 2010.

WENDLING, M. *et al.* **Análise da estabilidade de agregados e qualidade física**. 2021.

ZUBER, S. M.; NAFZIGER, E. D.; VILLAMIL, M. B. Long-term crop rotation and tillage effects on soil physical and chemical properties in Illinois. **Soil and Tillage Research**, n. 213, p. 105106, 2021.

Panorama da agricultura familiar: uma análise multiescalar do Brasil ao Caparaó Capixaba

Vívia Motta Leal, Maurício Novaes Souza, Elielton Almeida de Sousa, Gabriela Alves de Novaes, Atanásio Alves do Amaral

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c7>

Resumo

Historicamente, a agricultura tem suas raízes firmadas no trabalho familiar, inicialmente voltado à subsistência e à sobrevivência do grupo. Nesse contexto, o camponês estabeleceu uma relação embrionária com a terra, compreendida não apenas como meio de produção, mas também como espaço de moradia e pertencimento. Esse vínculo afetivo e simbólico contribuiu para o desenvolvimento de práticas produtivas menos agressivas ao meio ambiente, favorecendo o equilíbrio ecológico. Considerando que a relação com o território pode influenciar a maneira como o agricultor se conecta emocionalmente à terra e à comunidade, este estudo traça um panorama geral da agricultura familiar no Brasil, com recorte específico para o Espírito Santo e a região do Caparaó Capixaba. A análise enfatiza sua trajetória evolutiva, identificando limitações, desafios enfrentados e oportunidades que indicam caminhos possíveis para a superação das adversidades, com vistas à valorização da agricultura familiar como eixo estruturante do desenvolvimento rural sustentável.

Palavras-chave: Desenvolvimento Rural. Pertencimento Territorial. Práticas Agroecológicas. Espírito Santo. Comunidade Rural. Desafios e Oportunidades. Vínculo Terra-Camponês.

1. Introdução

Nos primórdios da humanidade, grupos de caçadores e coletores evoluíram para agricultores ao desenvolverem o cultivo de hortaliças, tubérculos, frutas e ao iniciarem a domesticação de animais. Esse processo marcou o início da civilização, impulsionando a busca por terras férteis e estimulando o contato com alimentos até então desconhecidos. A partir disso, o ser humano passou a distinguir odores, sabores e texturas, conceber técnicas de cultivo e experimentar métodos de conservação, práticas essenciais à sua sobrevivência e à manutenção do grupo familiar, além de fomentar o surgimento de tradições e culturas alimentares (Abreu *et al.*, 2001).

Historicamente, portanto, a agricultura tem suas raízes sustentadas no trabalho familiar, voltado inicialmente à subsistência e perpetuação do grupo. O camponês, nesse contexto, desenvolveu uma relação simbiótica com a terra, compreendida como local de trabalho, moradia e identidade. Esse sentimento de pertencimento favoreceu a adoção de formas de manejo menos agressivas ao meio ambiente, promovendo equilíbrio ecológico e conservação dos recursos naturais (Altieri; Toledo, 2011; Silva; Soares, 2023).

Embora marcada por ampla diversidade social, econômica e identitária (Melo; Oliveira, 2020), a agricultura familiar precisa ser compreendida para além de uma abstração ideológica. A definição legal do agricultor familiar, prevista na Lei nº 11.326/2006, adotada pelo IBGE e pela FAO, permite identificar objetivamente os sujeitos desse setor, fornecendo base concreta para o desenho de políticas públicas eficazes. O reconhecimento desse arcabouço legal é fundamental para mensurar o impacto da agricultura familiar no desenvolvimento rural sustentável, bem como para transformar a realidade rural de forma contínua e escalonável (BRASIL, 2006; FAO, 2014).

A agricultura familiar representa o maior número de unidades produtivas no Brasil e responde por parcela significativa da produção de alimentos, da geração de empregos e da dinamização de cadeias agroalimentares locais e regionais, tanto no campo quanto nas cidades. A partir desses aspectos, evidencia-se seu papel estratégico na promoção da segurança e soberania alimentar, especialmente diante dos atuais desafios socioambientais (IBGE, 2020; SAF, 2023).

A trajetória recente da agricultura familiar no Brasil também deve ser analisada como resultado das lutas por reconhecimento e por direitos sociais lideradas por movimentos sindicais e organizações rurais. A partir dos anos da década de 1990, essas entidades reivindicaram políticas públicas específicas frente ao avanço da exclusão social no campo e aos impactos da globalização sobre os pequenos produtores. A institucionalização da categoria "agricultura familiar", consolidada na Lei nº 11.326/2006, representou um marco político e simbólico importante para milhões de famílias agricultoras (Niederle; Fialho; Conterato, 2014).

Desde então, políticas como o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) têm desempenhado papel relevante na valorização do setor (Graziano Neto *et al.*, 2022).

Considerando que a relação com o território influencia diretamente o modo como o agricultor se vincula emocional e socialmente à terra e à comunidade, este estudo propõe um panorama da agricultura familiar no Brasil, com foco no Espírito Santo e na região do Caparaó Capixaba. A análise contempla sua evolução histórica, os principais desafios enfrentados e as oportunidades emergentes que podem alavancar estratégias de superação e fortalecimento desse modelo produtivo.

2. Agricultura Familiar: Panorama do Brasil, Espírito Santo e Caparaó Capixaba

Este breve panorama permite visualizar, em números, a relevância e as especificidades da agricultura familiar no Brasil, com destaque para o Espírito Santo e, em especial, a região do Caparaó Capixaba. Segundo o IBGE (2020), no último Censo Agropecuário (2017), analisado pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), estimou-se a existência de 108.014 propriedades rurais no Espírito Santo, envolvendo cerca de 357.258 pessoas em atividades agrícolas diversas. Destas propriedades, aproximadamente 75% têm base familiar, totalizando cerca de 213.557 pessoas ocupadas especificamente na agricultura familiar capixaba.

O Espírito Santo se destaca como o segundo maior produtor de café do Brasil, com relevância nacional e internacional na produção de cafés especiais do tipo arábica, cultivado nas montanhas capixabas e valorizado por torrefadoras em diversos países (Figura 1). Além disso, é o maior exportador nacional de mamão papaia, com destaque também para culturas como abacaxi, maracujá, coco, goiaba e morango.



Figura 1. Produção de cafés especiais no Sítio Santa Rita, Pedra Menina, Dores do Rio Preto, Caparaó Capixaba. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

Esse cenário promissor se explica, em parte, pela diversidade de condições de clima, solo e relevo, que favorecem a exploração de múltiplas atividades agropecuárias. O estado também apresenta um desenvolvimento contínuo em toda a cadeia produtiva, desde a produção de insumos até a distribuição e logística, passando pela agroindustrialização. Devido ao seu tamanho relativamente pequeno em termos de consumo interno, a comercialização de produtos para fora do estado — seja em âmbito nacional ou internacional — é fundamental para a geração de emprego e renda em aproximadamente 80% dos municípios capixabas. As exportações para cerca de 130 países incluem, além do café, produtos como celulose, pimenta-do-reino, gengibre e mamão (PEDEAG 4, 2023).

Comparando os Censos Agropecuários de 2006 e 2017, observa-se, em nível nacional, uma redução de 0,5% na área ocupada pela agricultura familiar,

9,5% no número de estabelecimentos e 17,6% nas pessoas ocupadas nesse segmento. No entanto, o Espírito Santo apresentou crescimento: aumento de 19% no número de estabelecimentos, 12% na área cultivada e 5,6% no número de pessoas ocupadas. Esse avanço inclui uma significativa ampliação da participação feminina na atividade agrícola, contrastando com a tendência de retração observada no cenário nacional (Santos; Canal; Tosta, 2022).

Esses resultados são fruto de investimentos públicos e privados, da modernização dos sistemas produtivos e de um processo de planejamento estruturado. Desde 2003, a agricultura familiar passou a ocupar papel central nas políticas públicas do governo estadual. Em parceria com a Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (SEAG), foi elaborado o Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba (PEDEAG), com o objetivo de impulsionar o setor. A adoção de uma cultura de planejamento participativo foi essencial para os avanços observados ao longo das últimas duas décadas, servindo como guia para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar, com valorização econômica, social e ambiental, e contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dos produtores e da sociedade em geral (PEDEAG 4, 2023) (Figura 2).



Figura 2. Visita técnica de alunos do Mestrado em Agroecologia do Ifes campus de Alegre na Estância São Lucas, Guaçuí, ES, 2024: valorização econômica, social e ambiental. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

A relevância do mercado agrícola capixaba é evidenciada pelo peso do agronegócio na economia estadual. Responsável por aproximadamente 30% do

Produto Interno Bruto (PIB) do Espírito Santo, o setor concentra cerca de 40% da população economicamente ativa, sendo que quase 80% dos municípios dependem financeiramente de atividades relacionadas ao meio rural (CEDAGRO, 2020). Nesse contexto, a agricultura familiar (AF) constitui parte essencial desse sistema, contribuindo para a geração de emprego, renda e segurança alimentar.

2.1. O território do Caparaó Capixaba

O território do Caparaó Capixaba, localizado no extremo sudeste do Estado, faz divisa com os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro e é composto pelos municípios de Alegre, Jerônimo Monteiro, Divino de São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Guaçuí, Ibatiba, Ibitirama, Irupí, Iúna, Muniz Freire e São José do Calçado. Dentro do contexto estadual, essa microrregião destaca-se por seu expressivo potencial agropecuário, mesmo em um cenário historicamente marcado pelo predomínio da monocultura cafeeira (Figura 3).



Figura 3. Mapa dos municípios e limites da Microrregião do Caparaó Capixaba.

Fonte: <https://www.es.gov.br/Notícia/conheca-o-novo-mapa-do-turismo-do-espírito-santo>, 2024.

Lima e Oliveira (2022) apontam indícios de transformação agrária na região, com a emergência de novas práticas e sistemas produtivos. Entre os aspectos favoráveis a essa mudança, destacam-se o ecoturismo e o agroturismo, a agroindustrialização e o cultivo agroecológico. Essas práticas não apenas diversificam as fontes de renda como também promovem uma nova relação com o espaço, a paisagem e os recursos naturais. Trata-se de um modelo agrário mais integrado ao meio ambiente, centrado na valorização da pequena propriedade rural e do trabalho familiar (Figura 4).



Figura 4. Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça, município de Alegre, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

O território do Caparaó é caracterizado pela predominância de pequenas propriedades, majoritariamente vinculadas à agricultura familiar. As principais atividades econômicas incluem o cultivo de café arábica de montanha e a pecuária leiteira (Gobbo *et al.*, 2015). A microrregião, composta por 12 municípios, abriga uma população de 118.651 habitantes, dos quais cerca de 50% residem na zona rural. Destes, aproximadamente 80% estão inseridos na categoria da agricultura familiar (IBGE, 2021).

Entre seus principais ativos, destaca-se a imponência da Serra do Caparaó — cordilheira que atinge altitudes próximas a 3.000 metros — onde se localiza o Parque Nacional do Caparaó, área de proteção ambiental que abriga o Pico da Bandeira, o terceiro ponto mais alto do Brasil. A região é rica em nascentes e

riachos que alimentam as bacias hidrográficas dos rios Itabapoana e Itapemirim, ambas de fundamental importância para o sul capixaba.

As belezas naturais da Serra do Caparaó, associadas à diversidade de atividades agrícolas e ao fortalecimento do turismo ecológico, tornam a região estratégica para o desenvolvimento sustentável. Essa visão está alinhada ao Plano de Desenvolvimento Espírito Santo 2030 (ES 2030), cuja diretriz de futuro propõe um estado “empreendedor e turisticamente atraente, modelo de qualidade de vida e sustentabilidade” (Figura 5).



Figura 5. Patrimônio da Penha, município de Divino de São Lourenço, ES: fortalecimento do ecoturismo. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

2.2. Perfil dos produtores rurais do município de Divino de São Lourenço

No município de Divino de São Lourenço, integrante da microrregião do Caparaó Capixaba, não existem assentamentos rurais. Das 868 propriedades registradas, 833 são classificadas como minifúndios ou pequenas propriedades. Esse cenário revela a predominância da mão de obra familiar na exploração das terras, configurando uma estreita relação entre propriedade e trabalho, fortemente ligada ao núcleo familiar.

A bovinocultura leiteira é a principal atividade agropecuária do município, caracterizada, em grande parte, pelo predomínio de práticas manuais. A população local é majoritariamente rural e, em sua maioria, reside na própria unidade produtiva. Os relatos dos agricultores evidenciam um processo

significativo de sucessão familiar, com a herança não apenas das terras, mas também do conhecimento e das práticas relacionadas ao ofício agrícola. A cultura do café se sobressai na região, acompanhada do cultivo de cana-de-açúcar, arroz, mandioca e milho (Lima; Oliveira, 2022).

Nas pequenas propriedades rurais familiares, observa-se maior precariedade no uso de métodos de gestão e na sistematização de informações produtivas. Segundo Clemente *et al.* (2010), esses produtores geralmente apresentam baixo grau de organização e planejamento, além de manterem registros informacionais pouco estruturados, dificultando a tomada de decisões estratégicas.

No distrito de Patrimônio da Penha, vila pertencente ao município, destaca-se o potencial turístico associado aos seus atrativos naturais, como trilhas em meio à rica biodiversidade, cachoeiras de águas cristalinas e corredeiras oriundas da Serra do Caparaó. A localidade atraiu moradores não naturais da região, inclusive estrangeiros, que estabeleceram residência permanente no entorno do Parque Nacional do Caparaó (PARNA). Essa nova configuração populacional introduziu hábitos, costumes e culturas diferenciadas, formando uma comunidade alternativa que adota práticas da agricultura familiar de base agroecológica (Figura 6).



Figura 6. Propriedade certificada na produção de cafés especiais em Pedra Menina, município de Dores do Rio Preto, ES: ecoturismo. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

Esse modelo tem impulsionado o desenvolvimento de um turismo diferenciado, voltado para a gastronomia regional, hospedagens em pousadas familiares, ecoturismo e eventos com temáticas místicas e ecológicas, promovidos ao longo de todo o ano (Lima; Oliveira, 2022).

Apesar do dinamismo crescente, os problemas relacionados à gestão ainda constituem um desafio importante. A maioria dos pequenos e médios produtores apresenta deficiências gerenciais significativas, o que contribui para a baixa rentabilidade dos empreendimentos familiares (Lazzarotto; Fioravanço, 2012). Essa é a realidade enfrentada por muitos agricultores familiares do Território Caparaó, mesmo diante da atuação de associações de produtores rurais e da presença institucional do Consórcio Caparaó (Lima; Oliveira, 2022).

2.3. Agroindústria e agricultura familiar

No entanto, a agricultura familiar (AF) não se restringe apenas à produção agrícola, abrangendo também a agroindústria, que agrega valor aos produtos e contempla toda a cadeia logística, desde o transporte até a distribuição. Essa integração de atividades configura uma cadeia produtiva complexa e interconectada, envolvendo produtores rurais, agroindústrias, empresas de logística, instituições de pesquisa e demais agentes do setor (Nascimento; Franco, 2017; Ramos; Belik, 2019).

Enquanto empreendimento rural baseado na AF, o setor agroindustrial exerce papéis fundamentais na economia brasileira, contribuindo significativamente, por exemplo, para a composição do Produto Interno Bruto (PIB) (Santos, 2024). Trata-se também de uma importante fonte de geração de empregos, englobando desde trabalhadores nas atividades agrícolas até profissionais nas indústrias de processamento de alimentos (Nascimento; Franco, 2015). As agroindústrias, muitas vezes situadas em áreas rurais, favorecem o desenvolvimento socioeconômico regional e contribuem para a redução das desigualdades sociais.

Além disso, o setor tem buscado incorporar tecnologias e práticas mais sustentáveis, em resposta à crescente demanda de consumidores ambientalmente conscientes. Vale ressaltar que a agroindústria não se limita à

produção de alimentos, abrangendo também segmentos como biocombustíveis, fibras naturais, produtos farmacêuticos, entre outros, o que contribui para a diversificação econômica do país (Ramos; Belik, 2019; Batista *et al.*, 2022).

Em síntese, a produção rural e a agroindústria são componentes fundamentais para o desenvolvimento econômico, social e ambiental do Brasil, desempenhando papel estratégico tanto na segurança alimentar quanto na inserção do país no cenário global do agronegócio (Santos, 2024).

No Espírito Santo, a AF está presente em 2.024 empreendimentos, com um faturamento médio de R\$ 18.650 por mês, segundo o Censo Agropecuário (IBGE, 2017). A atividade desempenha ainda um papel relevante no fortalecimento do turismo rural — especialmente o agroturismo —, segmento em franca expansão, sobretudo no interior do estado (PEDEAG 4, 2023). Em 2017, esse setor impactou diretamente a renda familiar em 41,8% dos empreendimentos, contribuindo com até 25% da renda total dessas unidades produtivas, o que resultou em um faturamento aproximado de R\$ 75 milhões (IBGE, 2017).

Na região do Caparaó Capixaba, a agroindustrialização em propriedades familiares se concentra principalmente na produção de derivados lácteos, mel e ovos, o que tem possibilitado a diversificação da renda dos agricultores. Merecem destaque também a produção artesanal, a gastronomia e o agroturismo, que têm se revelado atividades promissoras. No entanto, a insuficiência de infraestrutura tem limitado sua expansão.

De modo geral, as propriedades rurais da região ainda fazem uso de mão de obra predominantemente manual e apresentam baixos níveis de qualificação profissional. Esses fatores representam sérios desafios para o desenvolvimento regional, especialmente em um cenário de crescente competitividade no mercado consumidor. Tornar a pequena propriedade rural economicamente viável e sustentável é, portanto, uma das principais barreiras a serem superadas (Gobbo *et al.*, 2015).

A carência de acesso a tecnologias apropriadas e adaptadas à realidade da agricultura familiar (AF) leva à adoção de práticas muitas vezes tecnicamente inadequadas e ambientalmente insustentáveis. Tal situação compromete a

produtividade, enfraquece a resiliência dos agricultores familiares e amplia sua vulnerabilidade socioeconômica (Lima; Oliveira, 2022). Nesse contexto, o desafio central reside em adaptar a mecanização aos sistemas produtivos diversificados, típicos da AF, além de promover investimentos consistentes na capacitação voltada ao turismo ecológico e às demais formas de diversificação produtiva.

Localizado em Patrimônio da Penha, no município de Divino de São Lourenço-ES, o Núcleo Agroextrativista Caparaó Capixaba, sediado no Espaço Puri, atua desde 2011 com a coleta e o beneficiamento de diversos produtos florestais não madeireiros, com destaque para as polpas dos frutos da palmeira juçara (*Euterpe edulis*) (Andrikopoulos, 2020). Nessa época, de acordo com esse mesmo autor, o núcleo contava com dois sócios efetivos. No entanto, durante o período de safra, a produção envolvia de 1 a 6 colaboradores, conforme a demanda do mercado e a disponibilidade de mão de obra. A divisão das atividades contempla coletores e beneficiadores, sendo que a sede do Núcleo dispõe de maquinários especializados, viveiros de mudas de espécies florestais nativas, alojamento, área de recepção, loja e um Centro de Artes Livres (Figuras 7, 8 e 9).



Figura 7. Núcleo Agroextrativista Caparaó Capixaba: Espaço Puri, Patrimônio da Penha, Divino de São Lourenço, ES. Fonte: Andrikopoulos, 2020.

Cabe considerar que a palmeira juçara tem ganhado destaque nos sistemas produtivos agroflorestais, especialmente em pequenas propriedades rurais, por seu potencial como fonte de renda para agricultores familiares em

diversas regiões do Brasil. Além do valor econômico, a espécie contribui para a recuperação ambiental, sendo utilizada em áreas de preservação permanente (APPs) e reservas legais, e representa uma estratégia eficaz de diversificação da produção (Souza, 2022). Nos últimos anos, tem se difundido o manejo sustentável da juçara, com a utilização de seus frutos na alimentação humana e o aproveitamento das sementes, resultantes do processo de despulpamento, para a semeadura e regeneração da espécie (Siqueira-Souza; Vinha; Mantovani, 2015).

2.4. Políticas públicas, assistência técnica e programas de qualificação

No Espírito Santo, a continuidade de políticas públicas específicas, a ampliação da assistência técnica e a qualificação da mão de obra especializada são fatores decisivos para o fortalecimento da AF. No entanto, ainda se observam gargalos estruturais que ameaçam o desenvolvimento sustentável do setor, como a baixa oferta de formação técnica especializada, a descontinuidade das políticas públicas de apoio à produção e comercialização, e a ausência de gestão administrativa eficiente nas propriedades (PEDEAG 4, 2023). Essas limitações estruturais são agravadas pela redução da oferta de trabalho especializado no meio rural, fenômeno associado ao êxodo rural e à baixa atratividade da vida no campo para as novas gerações (Grisa; Schneider, 2015).

Na região do Caparaó, especificamente, um dos principais desafios consiste em promover uma mudança de mentalidade entre os produtores rurais, estimulando-os a compreender que a geração de riqueza depende, entre outros fatores, do entendimento das exigências de mercado, da organização dos atores locais e da adoção de modelos de produção compatíveis com a realidade socioeconômica e ambiental da região (Penna Júnior, 2020). Nesse processo, a qualidade da interação entre o técnico extensionista e o agricultor familiar é decisiva. A efetividade da extensão rural depende da capacidade de ambos compreenderem a estrutura da cadeia produtiva, os recursos disponíveis na propriedade e, principalmente, de estabelecerem objetivos técnicos e financeiros realistas, alinhados à capacidade de execução do produtor.

A correta escolha e implantação de tecnologias apropriadas, adaptadas ao contexto local, são essenciais para viabilizar sistemas produtivos mais eficientes, com níveis de lucratividade atrativos e sustentáveis. Nesse sentido, autores como Altieri (2012) e Gliessman (2015) destacam a importância de tecnologias baseadas em princípios agroecológicos, que respeitam os saberes locais e promovem a autonomia dos agricultores. A agroecologia, aliada à extensão rural participativa, oferece um caminho promissor para transformar os sistemas de produção, conciliando produtividade com conservação ambiental e justiça social (Figura 10).

Ademais, o fortalecimento da AF requer uma abordagem mais ampla sobre as dinâmicas produtivas e sociais que se desenvolvem nas pequenas propriedades rurais. A literatura recente tem enfatizado a pluriatividade como uma estratégia central de sobrevivência e reprodução social das famílias rurais (Niederle; Fialho; Conterato, 2014). Essa estratégia envolve a combinação de atividades agrícolas, não agrícolas (como artesanato, turismo, agroindústria) e assalariadas, internas ou externas à propriedade.



Figura 10. Momentos do “Encontro da Cultura Juçareira”, realizado na Feira Livre de Patrimônio da Penha. Fonte: Andrikopoulos, 2020.

A pluriatividade desafia a concepção tradicional da agricultura como atividade exclusiva do meio rural e exige uma reconfiguração das políticas públicas, para que elas reconheçam e apoiem essa complexidade produtiva e social. De acordo com Abramovay (2007), é necessário pensar o

desenvolvimento rural não apenas como um processo de aumento da produtividade agrícola, mas como a construção de uma nova ruralidade, onde o campo é visto como espaço de múltiplas atividades, culturas e identidades.

Além disso, a diversificação das fontes de renda tem se mostrado um importante mecanismo de resiliência frente às incertezas do mercado e às mudanças climáticas. Nesse contexto, o turismo rural e ecológico, a produção artesanal, as feiras agroecológicas e os circuitos curtos de comercialização representam oportunidades concretas de inserção econômica para as famílias agricultoras, desde que apoiadas por políticas públicas integradas e pela valorização dos produtos locais (Del Grossi; Marques, 2019; Silva; Veiga, 2021).

Portanto, superar os entraves que limitam o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar no Espírito Santo — e, mais especificamente, na região do Caparaó — exige um conjunto articulado de estratégias: políticas públicas continuadas, assistência técnica qualificada e contextualizada, incentivo à agroindustrialização e ao agroturismo, e valorização da pluriatividade como eixo estruturante de uma nova abordagem do rural brasileiro.

3. Cenário Atual

Diante da crescente demanda por alimentos, a agricultura tem desempenhado um papel central na transformação dos espaços naturais, sendo o trabalhador rural um agente fundamental nesse processo. Considerada uma das atividades humanas mais impactantes sobre o meio ambiente em escala global (FAO, 2006), a produção agrícola, quando conduzida com práticas não conservacionistas, acarreta efeitos adversos tanto para o meio natural quanto para a saúde humana. Esse cenário tem intensificado o debate sobre os problemas associados ao modelo agroalimentar dominante, exigindo abordagens mais sustentáveis que articulem produção, consumo, saúde e meio ambiente.

A insustentabilidade dos sistemas produtivos – compreendida como a incapacidade de atender às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991) – impõe a necessidade de soluções estruturantes

que mitiguem os impactos socioambientais decorrentes das formas tradicionais de produção. Nesse contexto, a microrregião do Caparaó Capixaba destaca-se por seu potencial para a construção de um novo paradigma agrário. Embora o modelo de produção predominante ainda seja o da monocultura cafeeira, Lima e Oliveira (2022) identificam iniciativas embrionárias que apontam para a transição agroecológica, com destaque para o eco/agroturismo, a agroindustrialização e os cultivos agroecológicos como caminhos promissores de diversificação econômica e sociocultural.

Essas alternativas sugerem uma nova forma de relacionamento com o território, pautada pela valorização da pequena propriedade familiar, da biodiversidade e dos saberes locais. Ainda assim, inúmeros entraves dificultam a consolidação de um modelo sustentável: baixos índices de produtividade e rentabilidade, ausência de gestão adequada das propriedades, práticas agrícolas degradantes, infraestrutura deficiente, escassa assistência técnica e falta de capacitação dos agricultores. Esses fatores se combinam para fragilizar a agricultura familiar (AF), perpetuando a sua condição de vulnerabilidade (Câmara, 2013).

Dentre as estratégias para reverter esse quadro, destaca-se a necessidade de promover a articulação entre Educação, Pesquisa e Extensão Rural. Essa tríade, prevista no PEDEAG 4 (2023), configura-se como um eixo estruturante para o fortalecimento da agricultura capixaba. A Educação é entendida como um processo formativo que fortalece o sentimento de pertencimento ao campo, incentivando o protagonismo do agricultor em sua realidade local. A pesquisa, tanto pública quanto privada, deve orientar-se pela geração de soluções tecnológicas e sociais que respondam às especificidades das cadeias produtivas locais. Já a Extensão Rural deve atuar como ponte entre o conhecimento gerado nas instituições e as práticas dos agricultores, promovendo a democratização do acesso às inovações e contribuindo para a construção de um modelo de desenvolvimento rural sustentável (Figura 11).



Figura 11. Visita técnica de alunos do Mestrado em Agroecologia do Ifes campus de Alegre à Estância São Lucas, Guaçuí, ES. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2024.

Uma estratégia ainda pouco explorada é a formalização de parcerias interinstitucionais por meio de termos de cooperação técnica, que possibilitem a integração de universidades – com corpo técnico qualificado e demanda por projetos – com órgãos públicos que, apesar de dispor de orçamento, carecem de recursos humanos para a implementação de políticas públicas (Mattar *et al.*, 2012). Essa sinergia pode fortalecer os programas de extensão universitária, ampliar a capilaridade das ações no meio rural e garantir que as políticas públicas alcancem efetivamente os agricultores familiares.

Para que a agricultura familiar avance e se consolide como protagonista do desenvolvimento rural, é necessário considerar uma abordagem holística que envolva os fatores internos (como a gestão da produção e a organização da propriedade) e externos (como o acesso a mercados, políticas públicas e condições macroeconômicas) que influenciam diretamente as tomadas de decisão do agricultor. Nesse sentido, o domínio da cadeia produtiva, a compreensão do seu funcionamento e a capacidade de desenvolver estratégias

compatíveis com a realidade local tornam-se aspectos centrais para a sustentabilidade da AF (Penna Júnior, 2020).

As discussões contemporâneas sobre o futuro da agricultura familiar no Brasil dividem-se entre aqueles que a consideram inviável dentro da lógica capitalista das cadeias agroindustriais e os que defendem sua ressignificação e fortalecimento por meio da diversificação produtiva e da valorização dos territórios. A agricultura familiar, historicamente subordinada a setores mais organizados e com maior poder de barganha nas cadeias produtivas, enfrenta pressões que comprometem sua lucratividade e autonomia. Portanto, torna-se essencial que o agricultor familiar compreenda sua produção em termos sistêmicos, reduza perdas, maximize ganhos e adote práticas de gestão e planejamento orientadas por princípios de sustentabilidade ambiental e justiça social (Oliveira *et al.*, 2023).

Além disso, é imprescindível considerar a crescente importância da pluriatividade no meio rural, isto é, a combinação entre atividades agrícolas, não agrícolas e assalariadas como estratégia de reprodução social das famílias. Essa dinâmica rompe com a visão tradicional do agricultor como exclusivamente produtor de alimentos e exige uma reconfiguração das políticas públicas para que sejam capazes de atender à complexidade das novas ruralidades (Niederle; Fialho; Conterato, 2014; Abramovay, 2000). Assim, políticas públicas mais sensíveis à realidade do campo devem considerar não apenas a produção, mas também os aspectos sociais, culturais e ambientais que constituem a vida rural.

4. Considerações

Diante dos desafios socioambientais impostos pelo atual modelo de desenvolvimento agrícola, torna-se urgente repensar os paradigmas que sustentam a produção de alimentos, especialmente nas regiões marcadas pela hegemonia da monocultura e pela fragilidade estrutural da agricultura familiar. O caso da microrregião do Caparaó Capixaba ilustra, de forma emblemática, a tensão entre a permanência de práticas tradicionais e a emergência de novas formas de relação com o território, mais sustentáveis e inclusivas.

A construção de um novo sistema agrário, baseado na agroecologia, na valorização da agricultura familiar e na diversificação produtiva, exige a integração de esforços entre diferentes setores da sociedade. A articulação entre Educação, Pesquisa e Extensão emerge como eixo estratégico capaz de promover mudanças estruturais, ao mesmo tempo em que fortalece o protagonismo dos sujeitos do campo. A superação das limitações produtivas, técnicas e organizacionais da agricultura familiar dependem do investimento em formação, da ampliação do acesso às tecnologias adequadas e da efetiva democratização das políticas públicas.

Parcerias interinstitucionais e instrumentos de cooperação técnica representam caminhos viáveis para ampliar a efetividade das ações voltadas ao meio rural, sobretudo em contextos de escassez de recursos e de fragilidade institucional. Nesse sentido, é fundamental estimular arranjos colaborativos entre universidades, órgãos públicos, organizações sociais e agricultores, criando redes de apoio mútuo que contribuam para o desenvolvimento territorial sustentável.

Por fim, é imprescindível que a agricultura familiar seja compreendida em sua complexidade, como um modo de vida que articula dimensões produtivas, culturais, sociais e ambientais. Reconhecer esse potencial é um passo essencial para garantir que essa forma de agricultura não apenas resista às pressões do agronegócio empresarial exportador, mas floresça como alternativa concreta e viável para o desenvolvimento rural do Espírito Santo e do Brasil. A transformação do campo passa, necessariamente, pela valorização da diversidade, pela justiça social e pela sustentabilidade ambiental.

5. Referências

ABRAMOVAY, R. Uma nova extensão rural para a agricultura familiar. In: Seminário Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1997, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília, DF: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, 1997. p. 203-218.

ABREU, E. S. *et al.* Alimentação mundial: uma reflexão sobre a história. **Saúde**. São Paulo, v. 10, n. 2, 2001.

ALTIERI, M. A.; TOLEDO, V. M. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. **Journal of Peasant Studies**, v. 38, n. 3, p. 587–612, 2011. DOI: 10.1080/03066150.2011.582947.

ALVES, E. R. de A.; SANTANA, C. A. M.; CONTINI, E. Extensão Rural: seu problema não é a comunicação. In: VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro; GASQUES, J. G. (Orgs.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília: Ipea, 2016.

ANDRIKOPOULOS, F. B. **Manejo e conservação da palmeira juçara *Euterpe edulis* Mart. (Arecaceae) no entorno direto do Parque Nacional do Caparaó, ES**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Alegre, IFES, 2020.

BATISTA, C.; BENCKE, F. F.; ROMAN, D. J. J.; PADILHA, L. S.. Legitimação da liderança e capitais mobilizados: história de vida de lideranças femininas de uma agroindústria de grande porte. **Revista Reuna**, v. 27, ed. 1, p. 1-23, 2022.

BRASIL. **Decreto n. 9.064, de 31 de maio de 2017**. Dispõe sobre a Unidade Familiar de Produção Agrária, institui o Cadastro Nacional da Agricultura Familiar e regulamenta a Lei n. 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e empreendimentos familiares rurais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 154, n. 103-A, p. 11, 31 maio 2017. Edição extra. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9064.htm Acesso em: 18 ago. 2024.

BRASIL. **Lei n. 11.326, de 24 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 143, n. 141, p. 1-2, 25 jul. 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm Acesso em: 21 ago. 2024.

BRASIL. **Plano nacional de extensão universitária**. In: FÓRUM DE PRÓ-REITORES DE EXTENSÃO DAS UNIVERSIDADES PÚBLICAS BRASILEIRAS. Ilhéus: Editora Editus, 2001, (Coleção Extensão Universitária).

CÂMARA, J. B. D. Governança ambiental no Brasil: Ecos do passado. **Revista de Sociologia e Política – Brasil**, v. 21, n. 46, p. 125-146, 2013.

CEDAGRO. CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO. **Dimensionamento do mercado capixaba de produtos**. Vitória: Cedagro, 2020.

CLEMENTE, A.; SOUZA, A.; TAFFAREL, M.; GERIGK, W. Perfil das propriedades rurais familiares e controle de custos na Região Centro-Sul do Paraná. **Custos e Agronegócio on line**. v. 6, n. 3, p. 21-43, 2010.

DOWBOR, L. Educação e apropriação da realidade local. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 60, p.75-92, 2007.

ESPÍRITO SANTO. SEAG. Secretaria do Estado e da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. **Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba: PEDEAG 4; 2023/2032**. Vitória, ES: Seag, 2023. Disponível em: [http:// https://seag.es.gov.br/acoes-e-programas/PEDAG](http://https://seag.es.gov.br/acoes-e-programas/PEDAG) Acesso em: 13 ago. 2024.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **2014: Ano Internacional da Agricultura Familiar**. Roma: FAO, 2014. Disponível em: <https://www.fao.org/family-farming-2014>.

FARIAS, M. F. L.; OLIVEIRA, E. R.; de SOARES, J. P. G. Metodologias em diálogos: perspectivas qualitativas e quantitativas nos caminhos da extensão universitária. In: In: SALETE MENEGAT, A. S.; OLIVEIRA, E. R. de. (Org.). **Saberes e experiências com a produção orgânica e agroecológica**. Dourados: UFGD, 2022. p. 15-30. ISBN: 978-85-8147-193-8. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/9788581471907>. Acesso em: 15 nov. 2024.

GOBBO, S.; GARCIA, R.; ALVAREZ, C. R.; EUGENIO, F.; AMARAL, A. (2015). Caracterização sociocultural das propriedades rurais do entorno do parque nacional do Caparaó. **Enciclopédia Biosfera**, 11. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1365>. Acesso em: 21 dez. 2024.

GRAZIANO NETO, J. *et al.* Agricultura Familiar e Políticas Públicas no Brasil: Avanços, retrocessos e perspectivas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 1, 2022. DOI: 10.1590/1806-9479.2022.232777.

HERNANDES, A.; PIGOSSI, G. A. Impacto dos Projetos de Extensão Rural no Desenvolvimento dos Agricultores Familiares. **IX Congresso Virtual de Agronomia – CONVIBRA 2021**. ISSN 2358-1689. Disponível em: <https://www.convibra.org/publicacao/26201/> Acesso em: 27 ago. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do Espaço Rural Brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlasrural/pdfs/11_00_Texto.pdf Acesso em: 05 ago. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário, 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br> Acesso em: 05 ago. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico, 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/divino-de-sao-lourenco> Acesso em: 21 ago. 2024.

LAZZAROTTO, J. J.; FIORAVANÇO, J. C. Reflexões sobre a capacitação gerencial na agricultura familiar brasileira. **Revista Tecnologia e Sociedade**. Brasil: Curitiba. v. 14, n. 1, p.105-114, 2012.

LIMA, T. L. B.; OLIVEIRA, M. L. R. de. Dinâmica dos sistemas agrários no Caparaó capixaba. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, 2022 (CC

BY 4.0). ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.300071>
Acesso em: 11 dez. 2024.

LOURENZANI, W. L. Capacitação gerencial de agricultores familiares: uma proposta metodológica de extensão rural. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, [S. l.], v. 8, n. 3, 2011. Disponível em: <https://www.revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/156> Acesso em: 12 dez 2024.

MATTAR, E. P. L.; OLIVEIRA, E.; FRADE JUNIOR, E. O. Termo de cooperação: um instrumento para fortalecer parcerias em ações de extensão rural universitária. **Revista Extensão Rural**, v. 19, n. 2, 2012.

MELO, S. W. C.; OLIVEIRA, L. G. de. A dinâmica da inovação na agricultura familiar do semiárido potiguar. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 55, Edição especial - Sociedade e ambiente no Semiárido: controvérsias e abordagens, p. 517-537, 2020. DOI: 10.5380/dma.v55i0.73325 ISSN 2176-9109

NIEDERLE, P. A.; FIALHO, M. A. V.; CONTERATO, M. A. A pesquisa sobre agricultura familiar no Brasil - aprendizagens, esquecimentos e novidades. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 52, n. 1, p. 9-24, 2014.

PENNA JÚNIOR, C. O. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; maio de 2020. **A produção intensiva de leite a pasto como fator competitivo para agricultura familiar no Espírito Santo**. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br> Acesso em: 18 nov. 2024.

PLATA, L. E. A.; FERNANDES, R. L. A nova assistência técnica e extensão rural brasileira. **Revista Perspectiva em Gestão, Educação & Tecnologia**, v.1, n.1, 2012.

ROBBINS, B.; WALLACE, D. **The family business**: how to successfully manage a family business. Melbourne: The Business Library, 1992.

SAF. Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. **Balço da Agricultura Familiar no Brasil**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2023.

SANTOS, A. F. Tendências e Desafios. Um estudo das percepções dos produtores rurais e representantes da agroindústria sobre o futuro do agronegócio brasileiro. **Revista Competitividade e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 81–104, 2024. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/comsus/article/view/32676>. Acesso em: 17. nov. 2024.

SANTOS, B. M.; CANAL, M. H. M.; TOSTA, M. C. R. Family farming: a comparative analysis between the socioeconomic aspects of Espírito Santo and Brazil based on the 2006 and 2017 Censuses. **REVER - Revista de Extensão e Estudos Rurais**. Viçosa – v. 11, n. 1, p. 25-49, 2022. ISSN 2359-5116.

SILVA, A. A. da; SOARES, J. C. de O. Agricultura familiar e produção de alimentos no Brasil: impactos na segurança alimentar. **GEOGRAFIA: Ambiente, Educação e Sociedades – GeoAmbES**, jul./dez. v. 1, n. 4, p. 67-78, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/geoambes/index> Acesso em: 27 ago. 2024.

SIQUEIRA-SOUZA, F. K.; VINHA, S. G.; MANTOVANI, A. *Euterpe edulis* Mart. Cultivation in Brazil: 50 years of research and commercial production. **Agroforestry Systems**, v. 89, n. 2, p. 187-201, 2015.

SOUZA FILHO, H. M. de; BUAINAIN, C. G.; MÁRCIO, A.; BATALHA, M. O. Agricultura familiar e tecnologia no Brasil: características, desafios e obstáculos. In: CONGRESSO DA SOBER, 42, 2004, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Cuiabá: SOBER, 2004.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. III. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022. 347 p. ISBN: 978-65-84548-04-6. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6>.

SOUZA, P. G. de; CAMARGO, G. H. S.; LOPES, L. T. Extensão universitária para a agricultura familiar. **Revista Americana De Empreendedorismo e Inovação: American Journal Of Entrepreneurship And Innovation**. v. 4, n. 1, 2022, p. 12-21. ISSN: 2674-7170. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/comsus/article/view/32676> Acesso em: 12 dez. 2024.

STRINGER, E. T. **Action Research: a Handbook for Practitioners**. Sage, 1996.

THIOLLENT, M. Construção do conhecimento e metodologia da extensão. In: Congresso Brasileiro de Extensão Universitária, 1, 2002, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: UFPB.

VIEIRA, Silvia C.; BERNARDO, Cristiane H. C.; LOURENZANI, Ana Elisa B.S. Política Pública de ATER para o desenvolvimento rural sustentável na agricultura familiar. **RECoDAF - Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, v. 1, n. 1, p. 1-22, 2015. ISSN: 2448-0452.

WANDERLEY, M. de N. B. “Franja periférica”, “pobres do campo”, “camponeses”: dilemas da inclusão social dos pequenos agricultores familiares. In: DELGADO, G. C.; BERGAMASCO, S. M. P. P. (org.). **Agricultura familiar brasileira: desafios e perspectivas de futuro**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2017. p. 64-83. Disponível em: https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/10/Agricultura_Familiar.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

WANDERLEY, M. N. B. O agricultor familiar no Brasil: um ator social da construção do futuro. **Agriculturas**. [s.l:s.n], v. especial, p. 33-46, 2009. Disponível em: http://agriculturas.leisa.info/index.php?urlgetblob.pho_id238382a_id211a_seq0. Acesso em: 18 ago. 2024.

CAPÍTULO 8

Análise de Sustentabilidade do Programa Gestágua: Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no Município de Alegre-ES

Sandra Regina dos Santos Moreira de Oliveira, Lucas de Brites Senra, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c8>

Resumo

A crescente degradação ambiental no Brasil impõe desafios complexos à preservação dos recursos naturais, especialmente em áreas rurais. Nesse contexto, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) surge como uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade, conciliando conservação ambiental com geração de renda. O Programa Gestágua, implantado no município de Alegre-ES, representa uma iniciativa inovadora ao remunerar produtores rurais que adotam práticas conservacionistas, favorecendo a recarga hídrica e a redução de processos erosivos. Por intermédio da articulação entre a SEMADS e o CMMA, o programa valoriza a agricultura familiar e incentiva a diversificação de renda, promovendo a melhoria da qualidade de vida no campo e impulsionando o desenvolvimento sustentável local.

Palavras-chave: Programa Gestágua. Pagamento por Serviços Ambientais. Sustentabilidade Rural. Agricultura Familiar. Conservação Hídrica.

1. Introdução

Desde o início do século XXI, a preservação do meio ambiente deixou de ser apenas uma pauta científica ou ideológica para tornar-se uma questão de sobrevivência, essencial à manutenção da vida no planeta e à garantia de condições dignas para as gerações futuras. A relação entre desenvolvimento e meio ambiente, historicamente marcada por conflitos e contradições, revela que o crescimento econômico acelerado, quando desvinculado de princípios sustentáveis, tende a comprometer seriamente os recursos naturais, em especial os recursos hídricos.

Um dos principais problemas ambientais atuais é a degradação da água, agravada pelo uso indiscriminado de pesticidas e fertilizantes químicos na agricultura convencional, que contaminam o solo e os lençóis freáticos, comprometendo a qualidade e a disponibilidade hídrica. Esses impactos se tornaram mais evidentes com a Revolução Verde, iniciada na segunda metade do século XX, que promoveu a modernização da agricultura por meio de tecnologias intensivas, como sementes geneticamente modificadas, irrigação mecanizada, e insumos sintéticos. Embora tenha aumentado a produção de alimentos, esse processo também aprofundou desigualdades sociais e desconsiderou os limites ecológicos, contribuindo para a erosão do solo, poluição da água e perda da biodiversidade (Souza, 2005).

Os efeitos negativos da degradação ambiental transcendem o meio físico e se refletem em esferas econômicas, sociais, políticas e culturais, exigindo respostas integradas e multidimensionais. Conforme aponta Amaral (2011), tais impactos podem ser medidos por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos, denominados indicadores de impacto ambiental. Nesse contexto, torna-se essencial a formulação e execução de políticas públicas voltadas à sustentabilidade, com ênfase na agricultura familiar, que historicamente enfrenta desafios estruturais para sua consolidação como um modelo de produção sustentável.

A adoção de instrumentos econômicos como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) representa uma alternativa promissora para a reconciliação entre produção e conservação. O PSA baseia-se no princípio do “provedor-recebedor”, complementando o tradicional princípio do “usuário-pagador”, e

propõe a compensação financeira a produtores e comunidades que desenvolvem práticas conservacionistas e de uso sustentável dos recursos naturais. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2012), esse modelo fortalece a corresponsabilidade entre quem se beneficia e quem provê os serviços ambientais, estimulando a preservação como parte integrante da atividade produtiva rural.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), em relatório publicado em 2008, destacou o PSA como uma das principais ferramentas para reduzir a pressão da agricultura sobre os ecossistemas florestais, em especial diante do avanço das mudanças climáticas e da crise hídrica. Ao reconhecer e valorizar o papel dos produtores rurais na conservação ambiental, o PSA também contribui para a geração de renda, promovendo justiça social e desenvolvimento territorial.

Nesse cenário, o município de Alegre, no estado do Espírito Santo, destaca-se por ter sido pioneiro na implantação de um programa municipal de PSA: o Programa Gestágua – Pagamento por Serviços Ambientais. Criado com o objetivo de estimular práticas conservacionistas voltadas à proteção dos recursos hídricos, o Gestágua remunera produtores rurais que adotam manejos sustentáveis, contribuindo para a infiltração de água no solo, redução da erosão e recarga dos lençóis freáticos. Em 2021, o programa completou seu terceiro ciclo de pagamentos e vem demonstrando resultados positivos nos âmbitos ambiental, social e econômico, ao fortalecer a agricultura familiar, diversificar as fontes de renda e consolidar uma cultura de sustentabilidade no meio rural.

O objetivo principal desta revisão é analisar a contribuição do Programa Gestágua – Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) para a promoção da sustentabilidade no município de Alegre–ES, avaliando seus impactos ambientais, sociais e econômicos, especialmente no contexto da agricultura familiar e da conservação dos recursos hídricos.

2. Serviços Ecossistêmicos

A preservação dos ecossistemas e, conseqüentemente, dos serviços ambientais por eles prestados, é essencial para a manutenção da vida humana

e para o equilíbrio do planeta. Esses serviços ecossistêmicos incluem, entre outros, a regulação do clima, a purificação da água, a fertilidade do solo, o controle de pragas e doenças, a polinização e o fornecimento de recursos naturais. No entanto, historicamente, o valor desses serviços foi negligenciado no âmbito econômico, sendo priorizadas atividades produtivas de curto prazo como a pecuária extensiva e a agricultura intensiva. Embora rentáveis no curto prazo, essas atividades frequentemente resultam em desmatamento, degradação dos mananciais e perda de biodiversidade, afetando diretamente o fornecimento de água e influenciando negativamente o clima (Penkaitis, 2020).

No meio rural, a sustentabilidade envolve a adoção de práticas produtivas que minimizem os impactos ambientais, promovam a conservação dos recursos naturais e favoreçam a inclusão social. Nesse sentido, os serviços ambientais prestados pelos agricultores familiares — como a manutenção de áreas de vegetação nativa, a proteção de nascentes e a adoção de práticas agroecológicas — tornam-se fundamentais. Essas ações contribuem não apenas para a qualidade de vida das famílias do campo, mas também para a permanência dessas populações em seus territórios, combatendo o êxodo rural e fortalecendo a agricultura de base familiar (Souza, 2005).

Segundo Caporal (2007), a sustentabilidade deve ser compreendida como um processo dinâmico e contínuo de construção de estratégias que qualifiquem a relação entre os seres humanos e os ecossistemas. Trata-se, portanto, de uma busca permanente por formas de desenvolvimento que respeitem os limites ecológicos, assegurando a viabilidade social e econômica das atividades humanas a curto, médio e longo prazo.

É nesse contexto que os Programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) se destacam como ferramentas inovadoras de incentivo à conservação. Diferentemente de outras políticas ambientais, os PSAs possuem caráter preventivo, voluntário e não punitivo, o que lhes confere maior aceitação entre os produtores e a sociedade em geral. Por isso, vêm demonstrando grande potencial em ações voltadas à preservação de florestas, proteção de mananciais e fortalecimento do desenvolvimento rural sustentável no Brasil (Moraes, 2012).

A Lei nº 14.119, sancionada em 13 de janeiro de 2021, institui formalmente a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. A legislação define

PSA como uma transação voluntária, na qual o pagador transfere recursos — financeiros ou não — ao provedor de serviços ambientais, com base em condições acordadas previamente e respeitando as normas legais e regulamentares vigentes (BRASIL, 2021). Essa formalização legal reforça a importância e a legitimidade dos arranjos institucionais para a implantação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade.

O PSA, segundo Melo (2017), surgiu como uma alternativa de incentivo à adoção de práticas conservacionistas, especialmente no meio rural. Desde o final dos anos da década de 1990, essa abordagem tem sido utilizada para recompensar agricultores pela manutenção e recuperação de áreas degradadas, pela adoção de práticas agrícolas sustentáveis e pela prestação de serviços ambientais relevantes à sociedade. Assim, os pagamentos funcionam como estímulos econômicos que tornam viáveis práticas de uso sustentável da terra, as quais muitas vezes são vistas como menos lucrativas ou até inviáveis sem apoio externo.

Essa lógica é reforçada por Wunder (2005) e Moreira *et al.* (2024), que concebem o PSA como um sistema de transferência de recursos de beneficiários dos serviços ambientais para aqueles que os provêm, ressarcindo os custos associados às práticas de conservação. Nesse modelo, há uma inversão do paradigma tradicional, em que o produtor, muitas vezes onerado pelas exigências ambientais, passa a ser reconhecido e recompensado por seu papel fundamental na manutenção do equilíbrio ecológico.

Como afirmam Jardim e Bursztyn (2015), a prevenção é, em geral, mais barata e eficaz do que a remediação de danos ambientais. Nesse sentido, os PSAs representam uma estratégia ambiental e econômica de grande relevância, pois permitem alinhar os interesses da conservação com a geração de renda, fortalecendo o vínculo entre sustentabilidade e justiça social.

Adicionalmente, como destaca Philippi Jr. (2005), a gestão ambiental adequada deve incluir o planejamento do uso do espaço, o controle sobre os recursos naturais, o gerenciamento de resíduos e a promoção de condições ambientais que minimizem riscos à saúde humana. Assim, a conservação dos serviços ecossistêmicos não é apenas uma questão ecológica, mas também de saúde pública e bem-estar coletivo.

Dessa forma, os PSAs se consolidam como uma abordagem promissora para a preservação ambiental e para o fortalecimento da agricultura familiar, ao reconhecer e valorizar os serviços ecossistêmicos prestados por pequenos produtores rurais e comunidades tradicionais.

3. Impactos do Gestágua em Alegre, ES

No ano de 2023, o programa Gestágua contou com a participação de 19 produtores rurais distribuídos em diferentes regiões do território rural do município de Alegre, ES. Esses produtores foram assessorados e monitorados pela empresa MV, sediada no próprio município.

O programa apresenta impactos relevantes em diversas frentes sustentáveis, sendo estruturado em três modalidades distintas:

1. Conservacionista

- ✓ **FPE:** Áreas que já apresentam cobertura florestal nativa, a partir do estágio inicial de regeneração, e que se mantêm preservadas, sem indícios de supressão.
- ✓ **SAF's +2:** Sistemas agroflorestais implantados há mais de dois anos, com práticas consolidadas de integração entre agricultura e conservação ambiental.

2. Recuperação/Restauração

- ✓ **REC:** Refere-se ao plantio de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica em áreas degradadas ou em processo de degradação, com o objetivo de restaurar as funções ecológicas do ecossistema.
- ✓ **REG:** Condução da regeneração natural de espécies nativas da Mata Atlântica, favorecendo a restauração florestal por meio de práticas de manejo que estimulam a sucessão ecológica.

3. Produtiva

- ✓ **Apicultura:** Instalação de colmeias, atividade considerada adicional quando vinculada a uma das outras modalidades (Conservacionista, Recuperação/Restauração ou Produtiva).

- ✓ **SAF:** Sistemas agroflorestais que integram, em uma mesma área, espécies lenhosas perenes e culturas agrícolas, promovendo produção e conservação dos recursos naturais, com ênfase na utilização de espécies nativas da Mata Atlântica.

Um dos aspectos de destaque entre os participantes do programa é a diversidade geográfica das localidades envolvidas. A seleção dos produtores ocorreu por meio da ampla divulgação de um edital em diversos meios de comunicação.

Quanto ao perfil dos participantes, observou-se predominância masculina, com os homens representando 64% dos inscritos, enquanto as mulheres compuseram 36% do total, refletindo uma distribuição que também pode ser analisada sob a perspectiva de gênero e acesso às políticas de incentivo ambiental (Figura 1).

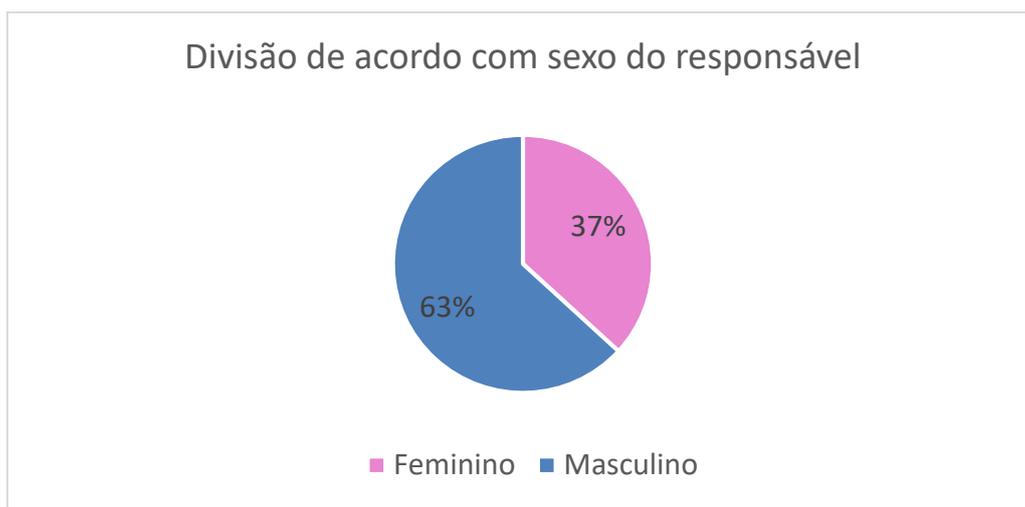


Figura 1. Divisão de acordo com sexo do responsável pelo projeto, sendo Azul Masculino e Rosa Feminino, adaptado por Lucas Senra, 2025. Fonte: MV GESTÃO INTEGRADA LTDA., 2025.

As culturas implantadas nas diversas áreas de atuação do programa Gestágua demonstraram uma significativa variabilidade de espécies, refletindo a adoção de práticas agrícolas integradas com a conservação ambiental. No total, foram plantadas aproximadamente 5.357 mudas, abrangendo uma área de cerca de 35 hectares. As espécies utilizadas incluíram nativas da Mata Atlântica, espécies exóticas de interesse madeireiro e cultivares agrícolas de importância

econômica regional, tais como café (*Coffea arabica*), cacau (*Theobroma cacao*) e banana (*Musa spp.*).

Essa diversidade na composição florística evidencia uma abordagem que alia produtividade com sustentabilidade, aspecto fundamental nos sistemas agroflorestais e nas estratégias de restauração ecológica contemporâneas. As espécies nativas desempenham papel essencial na recuperação da biodiversidade, na restauração das funções ecológicas do solo e da água, e na formação de corredores ecológicos que favorecem a fauna local. Já as espécies exóticas e cultivares produtivas inseridas de forma planejada garantem retorno econômico aos agricultores, promovendo segurança alimentar e geração de renda (Souza, 2024).

Para esse mesmo autor, a escolha das espécies plantadas no âmbito do programa também revela uma estratégia de uso múltiplo da terra, que considera tanto a viabilidade ecológica quanto a socioeconômica das ações. Esse modelo se insere dentro das diretrizes da agroecologia e da agricultura de base ecológica, que busca conciliar a resiliência dos agroecossistemas com a valorização dos saberes locais e o fortalecimento da agricultura familiar (Figura 2).



Figura 2. Culturas aplicadas no Gestágua 2023, adaptado por Lucas Senra, 2025. Fonte: MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.

Além disso, a introdução de cultivos como café e cacau, espécies perenes de sombra parcial, contribui para a formação de estratos vegetais múltiplos,

favorecendo o microclima, o controle da erosão, a infiltração de água e a manutenção da umidade do solo. Esses aspectos são especialmente relevantes em regiões que sofrem com a degradação ambiental e com os efeitos das mudanças climáticas.

Portanto, a adoção dessa diversidade de espécies e arranjos produtivos no programa Gestágua se configura como um exemplo de planejamento sustentável, reforçando a importância de políticas públicas que promovam a restauração ecológica associada à produção agrícola responsável.

A modalidade de apicultura teve papel de grande destaque no escopo do programa Gestágua, atendendo 16 produtores rurais e viabilizando a implementação de um total de 56 caixas de abelha. Essa iniciativa vai além da simples introdução de colmeias: ela representa um importante vetor de sustentabilidade ecológica, econômica e social no contexto das propriedades atendidas (Figura 3).

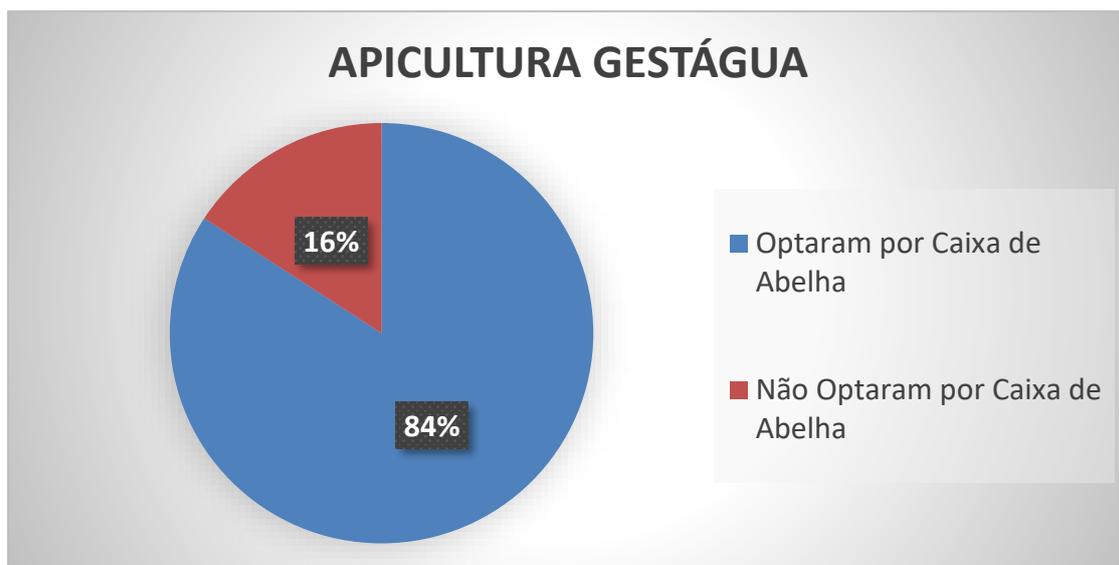


Figura 3. Gráfico de produtores que optaram pela Apicultura no Gestágua 2023, adaptado por Lucas Senra, 2025. Fonte: MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025

A presença das abelhas contribui de forma significativa para a manutenção da biodiversidade e para o aumento da produtividade agrícola, por meio da polinização de culturas nativas e cultivadas. Diversos estudos apontam que até 75% das culturas alimentares dependem, em algum grau, de polinizadores para garantir rendimento, qualidade dos frutos e estabilidade ecológica. Nesse

sentido, o fortalecimento da atividade apícola, especialmente em sistemas agroflorestais e áreas em processo de regeneração, potencializa os serviços ecossistêmicos oferecidos pela paisagem rural.

Além dos benefícios ambientais, a apicultura introduz uma nova fonte de renda e diversificação produtiva nas propriedades familiares, promovendo maior resiliência econômica, especialmente em períodos de entressafra ou instabilidade no mercado de culturas tradicionais. A produção de mel, própolis, cera e outros produtos derivados apresenta elevado valor agregado e pode ser inserida em mercados locais, feiras agroecológicas ou até mesmo em circuitos de turismo rural e produtos com apelo sustentável (Figura 4).



Figura 4. Caixas de abelhas implantadas pelo Gestágua 2023. Fonte Acervo MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025. Fonte: MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.

Outro fator relevante é o fortalecimento do protagonismo local. A adoção da apicultura em conjunto com práticas de conservação ou recuperação ambiental (como FPE, REC e SAFs) reforça o caráter integrador do programa, promovendo a valorização do conhecimento tradicional e a capacitação técnica dos agricultores, com potencial para formar multiplicadores de boas práticas ambientais.

Por fim, a implantação das caixas de abelha contribui também para a conscientização ecológica das famílias envolvidas, uma vez que a sobrevivência

e produtividade das colmeias dependem diretamente da qualidade ambiental do entorno, da ausência de agrotóxicos nocivos e da preservação da flora nativa. Isso gera um ciclo virtuoso de conservação, produtividade e desenvolvimento local sustentável (Figuras 5 e 6).



Figura 5. Caixas de abelhas, implementadas pelo Gestágua 2023. Fonte Acervo MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025. Fonte: MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.



Figura 6. Caixa de abelhas em SAF de Cacau, implantada pelo Gestágua 2023. Fonte Acervo MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025. Fonte: MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.

As modalidades do programa Gestágua foram implantadas e ficaram assim distribuídas em termos de porcentagem de adesão, conforme apresentado na Figura 7.

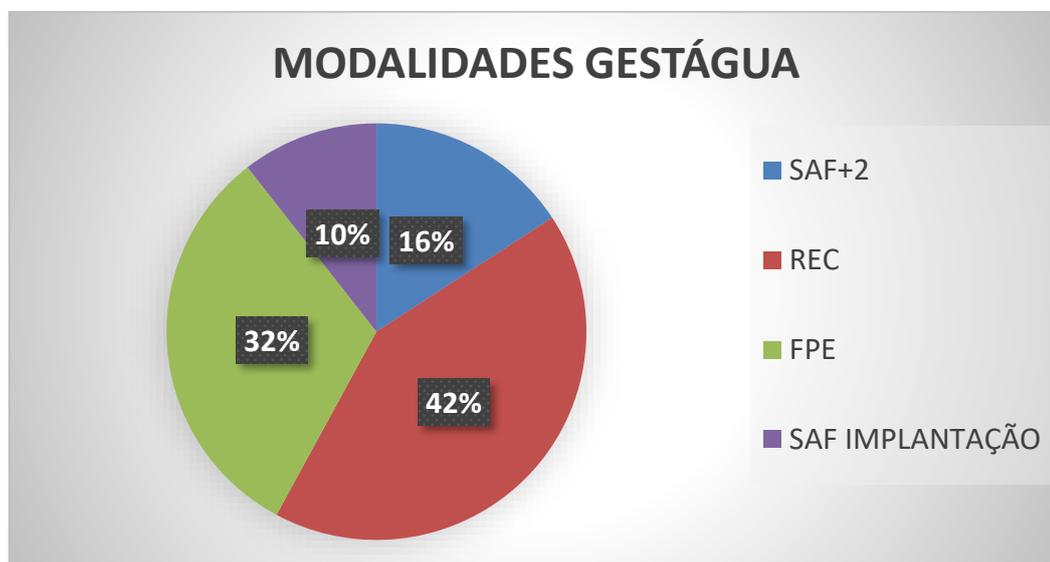


Figura 7. Gráfico de modalidades aplicadas no Gestágua 2023, adaptado por Lucas Senra, 2025. Fonte: MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.

Os valores pagos conforme as modalidades aplicadas no programa Gestágua em 2023 (Figura 8).

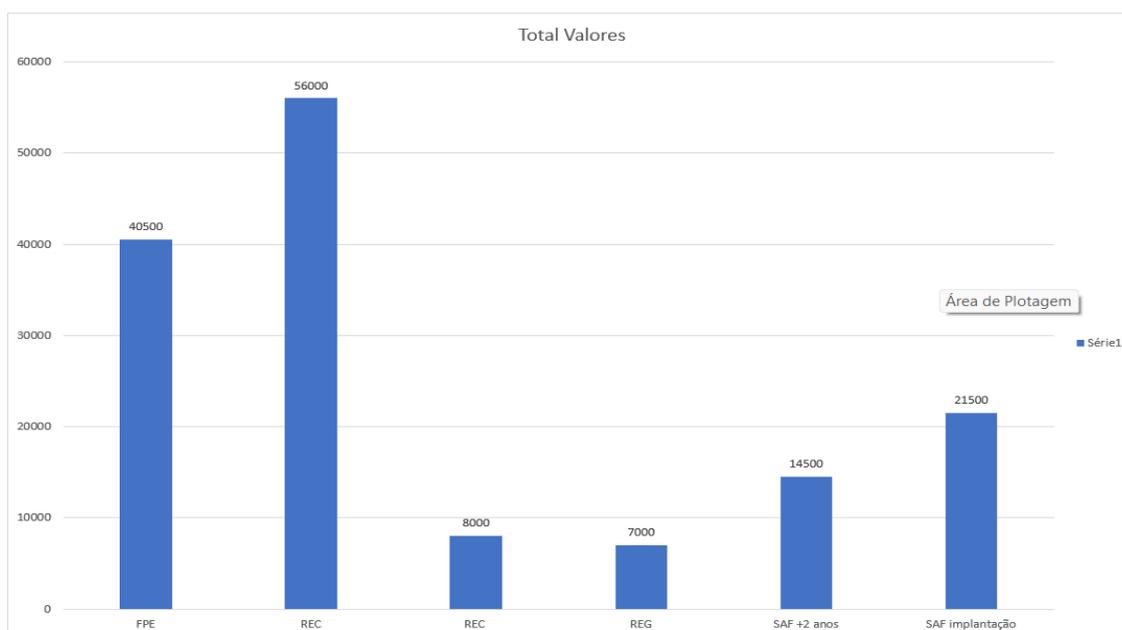


Figura 8. Gráfico de valores pago por modalidades aplicadas no Gestágua 2023, adaptado por Lucas Senra, 2025. Fonte: MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.

As Figuras 9 a 12 apresentam as modalidades aplicadas no Gestágua 2023.



Figura 9. Área de REC em estágio inicial, implantada pelo Gestágua 2023.

Fonte: Acervo MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.



Figura 10. Área de SAF's + 2, implementada pelo Gestágua 2023. Fonte Acervo MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.



Figura 11. Área de FPE conservada monitorada pelo Gestágua 2023. Fonte Acervo MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.

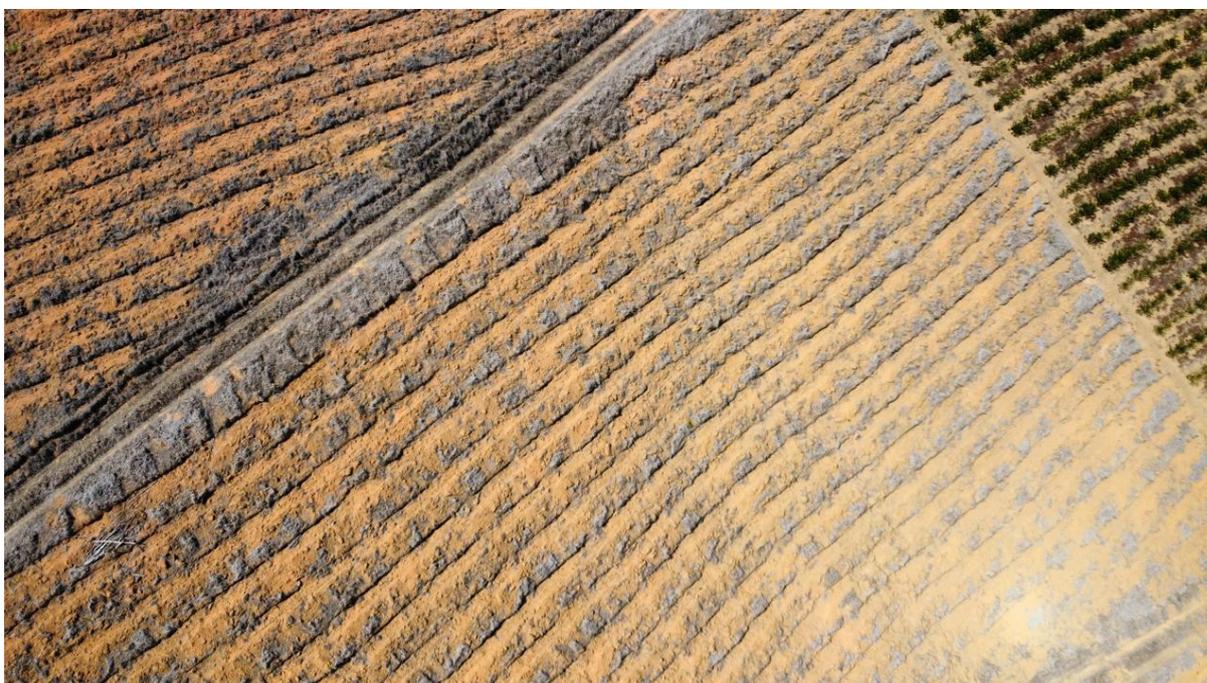


Figura 12. Área de SAF preparada para plantio, monitorada pelo Gestágua 2023. Fonte Acervo MV GESTÃO INTEGRADA LTDA, 2025.

3. Considerações

Ao término do ciclo do programa Gestágua em 2023, observou-se que a maior parte dos contratos de execução foi firmada por homens, o que reflete uma predominância masculina entre os proprietários de imóveis rurais. Este dado evidencia a persistente desigualdade de gênero no meio rural, revelando a necessidade urgente de políticas públicas que promovam a equidade na gestão da terra, no acesso a programas de incentivo e no fortalecimento da atuação feminina nas atividades produtivas sustentáveis.

A diversidade de culturas implantadas nas áreas atendidas pelo programa revela uma estratégia integrada entre conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico. O plantio de aproximadamente 5.357 mudas abrangeu espécies nativas da Mata Atlântica, exóticas de valor madeireiro e cultivares de interesse comercial, como café, cacau e banana, totalizando 35 hectares de intervenção. Essa abordagem multifuncional no uso do solo representa um modelo promissor de agricultura regenerativa, voltado para a recuperação de ecossistemas, a melhoria da qualidade do solo e a ampliação da biodiversidade local, sem abrir mão da geração de renda para os produtores.

A introdução de espécies nativas da Mata Atlântica é fundamental para a restauração ecológica do bioma, contribuindo com a regeneração natural, proteção dos recursos hídricos e oferta de habitat para a fauna silvestre. Por outro lado, a inclusão de espécies agroindustriais, como o café e o cacau, permite associar conservação à produção, desde que manejadas de forma sustentável. O sucesso dessa estratégia depende do uso responsável de insumos, da adoção de boas práticas agrícolas e do planejamento do consórcio entre espécies, para evitar a degradação do solo, a competição vegetal excessiva e a contaminação ambiental.

No caso das espécies exóticas madeiráveis, seu cultivo deve ser criteriosamente planejado. Apesar de representarem uma alternativa economicamente viável de produção de madeira legalizada — o que pode reduzir a pressão sobre florestas nativas — há riscos associados à invasão biológica, monocultivo intensivo e empobrecimento da biodiversidade local, que precisam ser mitigados com monitoramento técnico e normas claras de uso.

A modalidade de apicultura, contemplada em 16 propriedades com a instalação de 56 caixas de abelhas, destacou-se como uma importante aliada da sustentabilidade rural. Além da produção de mel e derivados (como própolis, cera e pólen), as abelhas têm papel essencial na polinização de culturas agrícolas e vegetação nativa, favorecendo o equilíbrio ecológico. Trata-se de uma atividade de baixo custo inicial, com elevado potencial de retorno financeiro, especialmente em nichos de mercado voltados para produtos orgânicos, agroecológicos e com apelo socioambiental.

A inclusão da apicultura no Gestágua também representa um passo importante para diversificação da produção nas pequenas propriedades, aumentando a resiliência econômica dos agricultores frente às variações climáticas e de mercado, e reforçando práticas produtivas alinhadas à conservação ambiental.

De forma geral, o programa Gestágua demonstrou ser uma iniciativa promissora para o estímulo à sustentabilidade no uso do solo e na valorização dos serviços ecossistêmicos. Contudo, seu êxito a médio e longo prazo dependerá de ações contínuas de:

- ✓ Monitoramento técnico participativo, com indicadores socioambientais bem definidos;
- ✓ Capacitação permanente dos produtores, incluindo assistência técnica rural voltada a sistemas sustentáveis;
- ✓ Apoio institucional e financeiro, por meio de políticas públicas que incentivem práticas de baixo impacto ambiental e recompensem os agricultores que prestam serviços ambientais;
- ✓ Inclusão social e de gênero, garantindo que mulheres, jovens e comunidades tradicionais tenham acesso igualitário aos benefícios do programa.

O fortalecimento dessas ações contribuirá para consolidar o Gestágua como um modelo replicável de política pública voltada à agricultura sustentável e à proteção dos recursos naturais no Espírito Santo e em outras regiões do país.

4. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual Operativo do Programa Produtor de Água**. 2. ed. Brasília: ANA, 2012.

AMARAL, A. A. do. **Fundamentos de agroecologia**. Curitiba: Livro Técnico, 2011. 160 p. ISBN 9788563687272 (broch.)

BIERHALS, D. F. *et al.* **Processo inicial de implantação de um programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no município de Pelotas/RS, em propriedades de agricultura familiar**. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/4554>.

BRASIL. **LEI Nº 14.119, DE 13 DE JANEIRO DE 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasília, 13 de janeiro de 2021; 200º da Independência e 133º da República.

CAPORAL, F. R. **Agroecologia e extensão rural: contribuições para a promoção do desenvolvimento rural sustentável**. 3. ed. Brasília: MDA, SAF, DATER, 2007. x, 166 p.

FERREIRA, J. M. L. *et al.* Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 33, n. 271, p. 12-25, 2012.

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (Org.). **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. 272 p. (Série biodiversidade - 42). ISBN 9788577381579 (broch.).

MELO, T. G. de; GONZÁLEZ, D. C. M. Pagamento por serviços ambientais (PSA) e práticas de agricultura sustentável: contribuições da análise do comportamento. **Estudos Interdisciplinares em Psicologia**, Londrina, v. 8, n. 2, p. 20-42, 2017.

MORAES, L. A. de M. **Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como instrumento de Política de Desenvolvimento Sustentável o Territórios rurais: o projeto protetor das águas de Vera Cruz, RS**. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/15497>. Acesso em: 20 fev. 2025.

MOREIRA, C. G.; CRESPO, A. M.; LOUBACK, G. C.; SOUZA, M. N.; OLIVEIRA, A. F. M. de; PRETO, B. L.; MEIRA, A. C. H.; RANGEL, O. J. P.; BERILLI, A. P. C. G.; VIEIRA, R. C.; MENDONÇA, R. L. P. D.; CALABIANQUI, T. N.; FELETI, N. C.; CARDOZO, L. G. C.; COSTA, A. L. **Valoração ambiental e pagamento por serviços ambientais: um estudo de caso na sub-bacia do córrego Horizonte, Rive-Alegre/ES**. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 22, p. e3930, 2024. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/3930>. Acesso em: 11 maio 2025. DOI: 10.55905/oelv22n3-194.

PENKAITIS, G. **Pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no estado de São Paulo, Brasil**: abordagens da geoética e educação geocientífica. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/346249//1/Penkaitis_Gabriela_D.pdf. Acesso em: 13 out. 2024.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; PELICIONI, M. C. F. (Ed.). **Educação ambiental e sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2005. 878 p. (Coleção ambiental; 3). ISBN 8520422071 (broch.).

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>.

Entre a produção e o prejuízo: a dualidade dos agrotóxicos na saúde humana

Ubaldo Saraiva, Kimberly Pinheiro de Oliveira, Wagner Gonçalves de Sá, Atanásio Alves do Amaral, Maria Angélica Alves da Silva Souza, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c9>

Resumo

A relação entre o uso de agrotóxicos e os prejuízos à saúde humana tem se tornado uma preocupação crescente, em virtude dos riscos associados à aplicação indiscriminada desses produtos na agricultura. Os agrotóxicos — também denominados pesticidas ou defensivos agrícolas — são empregados para controlar pragas, doenças e plantas espontâneas, contribuindo para a produtividade agrícola. No entanto, seu uso intensivo pode resultar em sérios impactos à saúde pública. Essas substâncias químicas têm potencial para contaminar o ar, a água e os alimentos, expondo trabalhadores rurais, consumidores e populações que vivem próximas às áreas de cultivo a compostos tóxicos. Estudos científicos apontam que a exposição a agrotóxicos está relacionada a uma série de problemas de saúde, incluindo intoxicações agudas e crônicas, distúrbios neurológicos, cânceres, disfunções hormonais e reprodutivas. Crianças, devido à sua maior vulnerabilidade fisiológica e desenvolvimento em curso, são particularmente suscetíveis aos efeitos adversos desses produtos. Além disso, trabalhadores agrícolas e moradores de zonas rurais constituem grupos de risco elevado, devido ao contato frequente e muitas vezes desprotegido com os agrotóxicos. A regulamentação rigorosa e o monitoramento efetivo do uso dessas substâncias são fundamentais para salvaguardar a saúde humana e proteger o meio ambiente. Estratégias como o manejo integrado de pragas e a promoção da agricultura orgânica despontam como alternativas viáveis, visando à redução da dependência química no campo e à construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis e seguros.

Palavras-Chave: Exposição ocupacional. Contaminação ambiental. Populações vulneráveis. Intoxicação humana. Regulamentação. Manejo integrado de pragas. Agroecologia. Sustentabilidade.

1. Introdução

O Brasil ocupa uma posição de destaque no cenário mundial no que se refere ao consumo de agrotóxicos, figurando entre os maiores consumidores dessas substâncias no setor agropecuário. Esse elevado índice tem gerado preocupações crescentes e fomentado intensos debates envolvendo diversos setores da sociedade, principalmente quanto aos impactos decorrentes do uso intensivo de agroquímicos sobre a saúde humana, o meio ambiente e a biodiversidade. A produção e a comercialização de agrotóxicos representam uma importante fonte de receita para a indústria química nacional e internacional, movimentando bilhões de reais anualmente.

Apesar da existência de legislações específicas — como a Lei nº 7.802/1989 e suas atualizações — e da atuação de órgãos reguladores, como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), ainda persistem significativas fragilidades nos mecanismos de controle, monitoramento e fiscalização da produção, comercialização e aplicação desses produtos. Além disso, muitos usuários, especialmente pequenos produtores, carecem de acesso à informação qualificada e formação técnica adequada sobre os riscos associados ao uso inadequado de agrotóxicos.

Outro fator preocupante é o crescimento contínuo do consumo dessas substâncias em território brasileiro, impulsionado por um modelo de agricultura intensiva e dependente de insumos químicos. Esse padrão de produção, orientado para o aumento da produtividade em larga escala, frequentemente ignora os princípios da agroecologia e da sustentabilidade, contribuindo para a degradação ambiental e o agravamento de problemas de saúde pública. Dados recentes demonstram uma tendência ascendente no volume de agrotóxicos utilizados no país (Figura 1), o que reforça a necessidade urgente de revisão das práticas agrícolas convencionais e de ampliação das políticas públicas voltadas à educação sanitária, transição agroecológica e uso responsável de insumos.

Diante desse contexto, torna-se fundamental aprofundar a compreensão sobre os efeitos adversos provocados pelos agrotóxicos, especialmente no que diz respeito à saúde humana, uma vez que diversos estudos têm apontado

relações entre a exposição a essas substâncias e o surgimento de doenças graves, como câncer, distúrbios hormonais e neurológicos.



Figura 1. Número de agrotóxicos registrados no Brasil entre 2000 e 2024. Fonte: Ministério da Agricultura, 2024.

Desde 2008, o Brasil tem utilizado mais de vinte produtos agrotóxicos que já foram banidos nos Estados Unidos e na União Europeia, em razão de seus comprovados riscos à saúde e ao meio ambiente. A persistência no uso dessas substâncias representa uma ameaça significativa não apenas à integridade dos ecossistemas, mas também à saúde física e mental da população exposta, especialmente em áreas rurais e entre trabalhadores do campo (Hendges *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2019). Em âmbito global, o consumo de agrotóxicos atingiu, em 2021, aproximadamente 3,5 milhões de toneladas, refletindo a crescente dependência desses insumos na agricultura intensiva. A Tabela 1 apresenta os principais países consumidores de agroquímicos no mundo, evidenciando o protagonismo de nações como Brasil, Estados Unidos e China nesse cenário (FAO, 2022).

Há defensores do uso de agrotóxicos que argumentam que, sem esses insumos, a produção agrícola seria drasticamente reduzida, comprometendo a segurança alimentar e impactando negativamente a economia nacional. Segundo esses defensores, quando utilizados de forma correta e sob regulamentação adequada, os agrotóxicos são considerados seguros e essenciais para garantir o abastecimento de alimentos, especialmente diante da vasta extensão territorial e da diversidade da agricultura brasileira (Lopes;

Albuquerque, 2018).

Tabela 1. Principais países consumidores de agroquímicos do mundo.

	Uso total	% do total
Mundo	3.531.086	100
Brasil	719.507	20,3
Estados Unidos	457.385	12,9
Indonésia	283.297	8
China	244.820	6,9
Argentina	241.519	6,8
Rússia	97.018	2,7
Canadá	92.960	2,6
Espanha	76.173	2,1
França	69.602	1,9
Austrália	63.416	1,8

Fonte: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2022).

No entanto, é amplamente reconhecido que essas substâncias apresentam riscos significativos à saúde humana e ao meio ambiente. Os agrotóxicos podem causar intoxicações agudas e crônicas, câncer, malformações congênitas e distúrbios endócrinos. Além disso, provocam a contaminação do solo, da água e dos alimentos, impactando negativamente a biodiversidade e a saúde de comunidades rurais e indígenas. A utilização de substâncias já proibidas em outros países, aliada ao uso excessivo e à aplicação inadequada, acentua ainda mais as preocupações em torno de seus efeitos (ANVISA, 2019; Carneiro *et al.*, 2023; IPEN, 2022).

É alarmante observar como a prática do uso de agrotóxicos se consolidou ao longo dos anos, muitas vezes sem supervisão técnica adequada nem a devida conscientização por parte dos trabalhadores rurais e da população em geral. Essa realidade persiste mesmo diante das profundas transformações nos modelos de produção e consumo que exigem uma reavaliação crítica das práticas convencionais. Nesse contexto, torna-se urgente fomentar um debate amplo e plural, envolvendo diferentes setores da sociedade, inclusive os mais diretamente inseridos na cadeia produtiva (Lopes; Albuquerque, 2018; ANVISA, 2019).

Entre janeiro de 2013 e junho de 2022, foram registrados 124.295 casos de Intoxicação Exógena (IE) por agrotóxicos no Brasil. Desses, 47,42% (n = 58.943) foram classificados como de causa não intencional, com média anual de 5.894,3 notificações e desvio-padrão de 1.576,7. Houve predominância de casos relacionados ao uso agrícola (47,34%; n = 27.904), sendo 64,85% (n = 20.709) das intoxicações referentes ao sexo masculino. A presente análise enfatiza os registros não intencionais (n = 58.943), que refletem a fragilidade dos mecanismos de controle e proteção à saúde pública (Brasil, 2023).

Vale destacar que, com exceção de grandes propriedades exportadoras, a agricultura nas proximidades dos centros urbanos é, majoritariamente, conduzida por pequenos produtores, que contam com mão de obra familiar. Nesses contextos, adultos e crianças compartilham as atividades agrícolas, o que expõe os menores de idade a riscos significativos de contaminação (Neves *et al.*, 2020; IPEN, 2022). Essa situação é particularmente preocupante, considerando que os efeitos da exposição prolongada a compostos tóxicos sobre organismos em desenvolvimento ainda são pouco compreendidos, e muitas substâncias utilizadas como agrotóxicos são suspeitas de apresentarem ação carcinogênica e desregulação hormonal (Lopes; Albuquerque, 2018; Requena-Mullor *et al.*, 2021).



Figura 2. Aplicação de agrotóxicos sem o uso de EPIs. Fonte: <https://www.uol.com.br/vivabem/noticias/deutsche-welle/2018/07/05/as-sequelas-dos-agrotoxicos-para-trabalhadores-rurais.htm>.

Apesar da gravidade do tema, a maioria dos estudos realizados no Brasil aborda separadamente as contaminações humanas (ocupacionais, acidentais ou por tentativa de suicídio) e ambientais, não considerando de forma integrada a multiplicidade de rotas de exposição, suas interações e a complexidade dos efeitos (Brasil, 2023). Essa lacuna dificulta a construção de estratégias mais eficazes de prevenção e mitigação dos impactos.

No Brasil, os agrotóxicos constituem a segunda principal causa de intoxicação registrada, atrás apenas de medicamentos. No entanto, são eles os responsáveis pela maior letalidade entre os casos registrados, evidenciando o alto grau de toxicidade dessas substâncias (ANVISA, 2009; Carneiro *et al.*, 2023).

Ainda há controvérsia sobre a segurança de baixas doses de glifosato, o herbicida mais utilizado no país. Estudos recentes alertam que, mesmo em concentrações consideradas "aceitáveis" pelas agências reguladoras, a exposição pode ser prejudicial a indivíduos suscetíveis, como fetos em desenvolvimento ou lactentes expostos pelo leite materno (Requena-Mullor *et al.*, 2021; Mesnage *et al.*, 2023).

A atuação científica e o investimento em pesquisa são essenciais para compreender plenamente os impactos dos agrotóxicos sobre a saúde humana e os ecossistemas. Considerando o uso intensivo dessas substâncias no Brasil, é fundamental dispor de regulamentações rigorosas, fiscalização eficaz e monitoramento sistemático, especialmente em áreas mais vulneráveis, como entre pequenos produtores rurais e agricultores familiares, que frequentemente enfrentam dificuldades no acesso à assistência técnica e à informação qualificada.

Neste cenário, torna-se urgente fomentar programas de educação e sensibilização voltados a agricultores e consumidores, incentivando práticas agrícolas mais sustentáveis e o uso racional e consciente de insumos químicos.

Este trabalho propõe uma revisão da literatura científica sobre a relação entre o uso de agrotóxicos e os impactos à saúde humana, destacando evidências empíricas, grupos populacionais mais vulneráveis, lacunas regulatórias e possíveis alternativas sustentáveis ao atual modelo de produção

agrícola.

2. Modos e meios de contaminação

A contaminação por agrotóxicos pode ocorrer por diversas vias, como a inalação, o contato dérmico e a ingestão de alimentos contaminados. Essa exposição afeta diretamente os trabalhadores rurais, que estão em contato constante com os produtos durante o preparo, aplicação e manejo das lavouras, muitas vezes sem os devidos equipamentos de proteção individual. Além disso, a população em geral também pode ser impactada, seja pelo consumo de alimentos com resíduos de agrotóxicos acima dos limites permitidos, pela contaminação da água potável, ou ainda pela poluição ambiental que atinge o solo e os corpos d'água próximos às áreas de cultivo. Esses riscos tornam urgente a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e o fortalecimento da fiscalização e da educação sobre o uso seguro e consciente de defensivos agrícolas.

2.1. Modos de contaminação

A seguir, são descritos os principais modos de contaminação, com base em autores clássicos e recentes da área (Peres; Moreira, 2007; Moreira *et al.*, 2012; Rigotto *et al.*, 2013; Pignati *et al.*, 2014; Carneiro *et al.*, 2015; Silva; Mattos, 2015; Medeiros *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023):

➤ Contaminação do solo

- ✓ **Aplicação direta:** ocorre quando os agrotóxicos são aplicados diretamente no solo com o objetivo de controlar pragas e plantas espontâneas.
- ✓ **Lixiviação:** consiste na infiltração dos agrotóxicos através das camadas do solo, alcançando os lençóis freáticos e comprometendo a qualidade da água subterrânea.
- ✓ **Erosão e escoamento superficial:** partículas de solo contaminadas podem ser carregadas pela água da chuva, atingindo corpos d'água e ecossistemas vizinhos.

➤ Contaminação da água

- ✓ **Escoamento superficial:** a aplicação de agrotóxicos em lavouras pode resultar em sua dispersão pelas chuvas para rios, lagos e reservatórios.
- ✓ **Infiltração:** agrotóxicos solúveis podem percolar no solo até atingir os aquíferos.
- ✓ **Drenagem agrícola:** sistemas destinados a escoar o excesso de água do solo podem também transportar resíduos químicos para ambientes aquáticos.

➤ Contaminação do ar

- ✓ **Deriva:** durante e após a aplicação, partículas de agrotóxicos podem ser levadas pelo vento para áreas vizinhas, afetando locais e pessoas não-alvo.
- ✓ **Volatilização:** alguns princípios ativos se evaporam, dispersando-se pelo ar e podendo atingir regiões distantes do local de aplicação.

➤ Contaminação dos alimentos

- ✓ **Resíduos em culturas:** a aplicação direta em frutas, hortaliças e cereais pode deixar resíduos que permanecem até o consumo humano e animal.
- ✓ **Bioacumulação:** certos compostos se acumulam ao longo da cadeia alimentar, impactando predadores e seres humanos nos níveis mais altos da cadeia trófica.

➤ Contaminação de organismos

- ✓ **Absorção pelas plantas:** raízes e folhas absorvem agrotóxicos presentes no solo ou na pulverização, incorporando-os em seus tecidos.
- ✓ **Ingestão por animais:** fauna silvestre e doméstica podem ingerir substâncias tóxicas ao se alimentar de plantas ou água contaminadas.
- ✓ **Contato direto:** agrotóxicos podem afetar organismos por contato com superfícies tratadas, incluindo solo, vegetação ou equipamentos.

➤ Contaminação humana

- ✓ **Ingestão de alimentos e água contaminados:** via predominante de exposição da população em geral.
- ✓ **Inalação:** inalar partículas em suspensão ou vapores gerados durante ou após a aplicação.
- ✓ **Contato dérmico:** pele exposta pode absorver os produtos, especialmente durante o manuseio ou aplicação.
- ✓ **Exposição ocupacional e acidentes:** trabalhadores rurais, transportadores e aplicadores estão entre os mais vulneráveis, com frequente ausência de equipamentos de proteção e treinamento adequado.

➤ Dispersão ambiental

- ✓ **Transporte pelas águas:** agrotóxicos podem ser mobilizados pelas chuvas e cursos d'água, atingindo regiões distantes do foco inicial.
- ✓ **Migração por cadeias alimentares:** substâncias químicas podem ser transferidas entre organismos por meio da alimentação, afetando diferentes níveis ecológicos e contribuindo para desequilíbrios nos ecossistemas.

Os diversos modos de contaminação por agrotóxicos evidenciam os riscos generalizados e reforçam a necessidade de promover práticas agrícolas mais seguras, com regulamentação rigorosa e fiscalização efetiva. Torna-se imprescindível o incentivo a alternativas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas (MIP) e o controle biológico, capazes de reduzir a dependência de substâncias químicas e mitigar os impactos à saúde e ao meio ambiente (FAO, 2021; OMS, 2022; Silva *et al.*, 2023).

2.2. Meios de contaminação

Conforme diversos autores (Peres; Moreira, 2007; Moreira *et al.*, 2012; Rigotto *et al.*, 2013; Pignati *et al.*, 2014; Carneiro *et al.*, 2015; Silva; Mattos, 2015), os principais meios de contaminação por agrotóxicos podem ser

classificados em três categorias: **ocupacional, ambiental e alimentar**.

➤ **Ocupacional**

A contaminação ocupacional ocorre principalmente entre trabalhadores diretamente envolvidos na manipulação de agrotóxicos. Essa exposição pode se dar durante a formulação (mistura e diluição dos produtos), a aplicação (pulverização, condução de mangueiras — a chamada "puxada" —, descarte de resíduos e embalagens contaminadas) e mesmo durante a colheita, quando o trabalhador entra em contato com culturas recentemente tratadas (Petarli *et al.*, 2019).

Embora esse tipo de exposição atinja um grupo mais restrito — como trabalhadores rurais e agentes de combate a endemias —, ela responde por mais de 80% dos casos de intoxicação por agrotóxicos no Brasil, devido à elevada intensidade e frequência do contato com essas substâncias (Siqueira; Kruse, 2008). O acesso à informação científica por parte dos profissionais que tomam decisões, bem como dos próprios trabalhadores, é fundamental para a redução desses casos.

➤ **Ambiental**

A via ambiental compreende a dispersão dos agrotóxicos nos diferentes compartimentos do ecossistema, afetando solo, ar e recursos hídricos. A contaminação das águas ocorre por meio da migração dos resíduos para lençóis freáticos, rios, córregos, lagos e lagoas. A contaminação atmosférica, por sua vez, está relacionada à pulverização aérea, à manipulação de produtos em pó ou à evaporação de substâncias mal armazenadas. Já os solos podem ser contaminados tanto pela aplicação direta quanto pelo acúmulo residual desses compostos (INCA, 2023).

Diante dos riscos ambientais e sanitários associados ao uso intensivo de agrotóxicos, torna-se fundamental a busca por alternativas sustentáveis e seguras de produção. Nesse sentido, a **Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO)** representa um marco importante na promoção do desenvolvimento rural sustentável, ao incentivar práticas de base agroecológica.

➤ Alimentar

A exposição alimentar ocorre por meio da ingestão de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos, representando um risco direto à saúde da população. A toxicodinâmica — ramo da toxicologia que estuda os efeitos de agentes tóxicos sobre os órgãos e sistemas biológicos — explica como essas substâncias interferem nas funções fisiológicas, podendo causar desde alterações hormonais até efeitos carcinogênicos e neurotóxicos (Queiroz *et al.*, 2019) (Figura 3).

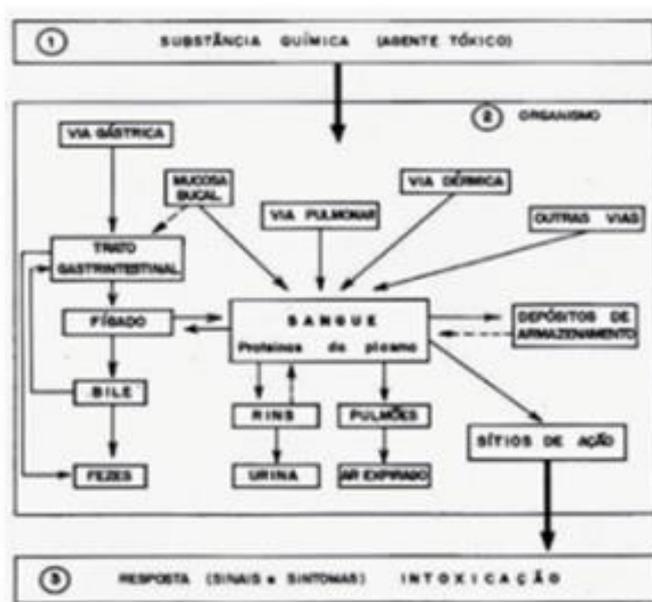


Figura 3. Toxicodinâmica: estuda a ação dos agentes tóxicos sobre os diferentes órgãos e funções do organismo. Fonte: Klaassen, 2019.

Os consumidores, por sua vez, desempenham um papel central na transformação do modelo agrícola vigente. Ao priorizarem alimentos produzidos de forma sustentável — como os alimentos orgânicos e os oriundos da agroecologia — e exigirem transparência na cadeia produtiva por meio da rastreabilidade, contribuem para a construção de um sistema alimentar mais justo, equilibrado e sustentável.

A intoxicação ocorre quando um organismo é exposto a uma substância tóxica em quantidade suficiente para provocar efeitos adversos à saúde. Segundo Casarett e Doull (2019), a toxicologia é a ciência que investiga os

efeitos nocivos das substâncias químicas sobre os organismos vivos, bem como os mecanismos pelos quais essas substâncias comprometem a saúde.

3. Efeitos

De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), os efeitos da exposição a agrotóxicos podem ser classificados em dois tipos principais:

✓ **Efeitos agudos**, que resultam de uma exposição única ou de curta duração a altas concentrações de um ou mais agentes tóxicos, manifestando-se geralmente em até 24 horas após o contato;

✓ **Efeitos crônicos**, que decorrem da exposição contínua ou repetida a baixas doses de substâncias tóxicas ao longo do tempo, podendo levar meses ou anos para se manifestarem.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos principais efeitos agudos e crônicos associados à exposição aos agrotóxicos, considerando a praga-alvo e o grupo químico a que pertencem.

Alguns compostos químicos exigem exposições repetidas para manifestar toxicidade, enquanto outros podem desencadear efeitos adversos após uma única exposição. Dessa forma, o impacto toxicológico de uma substância está diretamente relacionado ao perfil de exposição (dose, frequência e duração), bem como aos processos de absorção, distribuição, metabolismo e excreção — aspectos estudados pela toxicocinética e pela toxicodinâmica (Ross *et al.*, 2001; Casarett; Doull, 2019; Faria *et al.*, 2021; PAN, 2022).

A literatura recente também destaca a relação entre exposição crônica a agrotóxicos e doenças como câncer, distúrbios neurodegenerativos, desregulação endócrina, infertilidade e malformações congênitas (Ferreira *et al.*, 2020; Pignati *et al.*, 2021; IBAMA, 2023).

Tabela 2. Efeitos da exposição aos agrotóxicos

Classificação	Grupo químico	Intoxicação aguda	Intoxicação crônica
INSETICIDAS	- Organofosforados e carbonatos.	- Fraqueza; - Cólica abdominal; - Vômito; - Espasmos musculares; - Convulsão.	- Efeitos neurológicos retardados; - Alteração cromossômicas; - Dermatite de contato
	- Organoclorados	- Náusea; vômitos - Contrações musculares involuntárias.	- Arritmia cardíaca; - Lesões renais; - Neuropatias periféricas;
FUNGICIDAS	- Ditiocarbonatos	- Tonteira; - Vômito; - Tremores musculares; - Dor de cabeça.	- Alergias respiratórias; - Dermatites; - Doença de Parkinson; - Cânceres.
	- Fentalamidas		- Teratogênese.
	- Dinitrofenóis e pentaclorofenol	- Dificuldade respiratória; - Hipertermia; - Convulsão.	- Cânceres; - Cloracnes.
HERBICIDAS	- Fenoxiacéticos	- Perda de apetite; - Enjoo; - Vômito; - Fasciculação muscular.	- Indução da produção de enzimas hepáticas - Cânceres; - Teratogênese.
	- Dipiridilos	- Sangramento nasal; - Fraqueza; - Desmaio; - Conjuntivites.	- Lesões hepáticas; - Dermatite de contato; - Fibrose pulmonar.

Fonte: WHO, 1990; OPS/WHO, 1996 *apud* Peres, 1999.

4. Efeitos Neurológicos

Nas últimas duas décadas, observou-se um aumento expressivo na prevalência de transtornos do neurodesenvolvimento, como o Transtorno do

Espectro Autista (TEA) e o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), possivelmente associado à crescente exposição ambiental a substâncias neurotóxicas, incluindo agrotóxicos (Dickerson *et al.*, 2020; Maleki *et al.*, 2022).

Os compostos organofosforados, amplamente utilizados na agricultura, são reconhecidos por seus efeitos neurotóxicos tanto em exposições agudas quanto crônicas. A exposição aguda pode provocar manifestações neurológicas retardadas, como fraqueza muscular, confusão mental e alterações no sistema nervoso central. Já a exposição crônica tem sido associada ao desenvolvimento de sintomas depressivos, os quais constituem um fator de risco significativo para comportamentos suicidas (Farahat *et al.*, 2003).

Segundo esse mesmo autor, estudos de campo reforçam essas observações. Em pesquisa conduzida com produtores de algodão no Egito, verificou-se que a exposição contínua a agrotóxicos estava associada à deterioração de funções cognitivas, como atenção, memória, capacidade de abstração verbal e desempenho comportamental. Adicionalmente, Wijngaarden demonstrou que o envolvimento em atividades agrícolas com uso frequente de agrotóxicos estava positivamente correlacionado a um maior risco de mortalidade por distúrbios mentais, com destaque para impactos mais pronunciados em mulheres (Figuras 4 e 5).

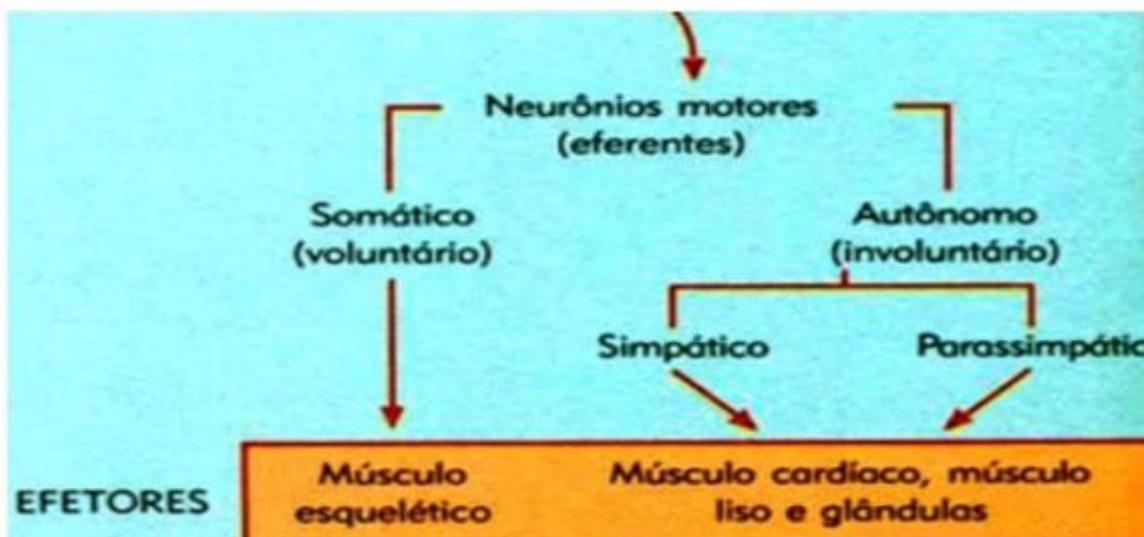


Figura 4. Ação dos agrotóxicos. Fonte: Farahat *et al.*, 2003.

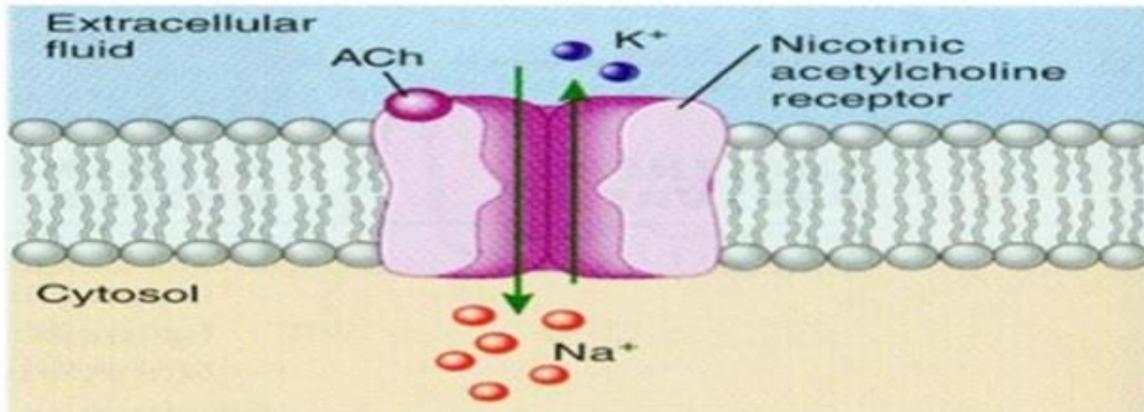


Figura 5. Nicotinic Cholinergic receptors. Fonte: Farahat *et al.*, 2003.

Esses achados reforçam a urgência de políticas públicas que regulem o uso de substâncias neurotóxicas e promovam alternativas sustentáveis e seguras no contexto agrícola, protegendo especialmente trabalhadores rurais e populações vulneráveis.

5. Depressão

A depressão é uma das principais causas de incapacidade no mundo e figura como um dos mais importantes problemas de saúde pública da atualidade. Estima-se que aproximadamente 300 milhões de pessoas sofram com o transtorno depressivo, enquanto os transtornos de ansiedade acometem cerca de 270 milhões de indivíduos globalmente (Dickerson *et al.*, 2020; WHO, 2023). Esses transtornos não apenas comprometem a qualidade de vida, como também estão intimamente associados ao aumento nas taxas de suicídio.

Estudos têm demonstrado que trabalhadores rurais e agricultores expostos a agrotóxicos estão particularmente vulneráveis a desenvolverem sintomas depressivos. Uma pesquisa conduzida na Espanha apontou que as taxas de suicídio em regiões agrícolas são significativamente superiores às de áreas urbanas ou não agrícolas, mesmo quando se consideram variáveis socioeconômicas e demográficas semelhantes (García-Pérez *et al.*, 2018). De forma semelhante, no Canadá, observou-se um aumento substancial no risco de suicídio entre agricultores que manuseavam rotineiramente herbicidas e inseticidas, em comparação com trabalhadores rurais não expostos a esses

compostos (Beseler *et al.*, 2008).

No Brasil, os dados também indicam uma tendência preocupante. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) de 2019, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o percentual de adultos com diagnóstico de depressão cresceu 34,2% em seis anos. A pesquisa apontou que 10,2% da população com mais de 18 anos (aproximadamente 16,3 milhões de pessoas) declarou ter recebido esse diagnóstico por um profissional de saúde (IBGE, 2020).

Além da exposição direta a substâncias tóxicas, outros fatores relacionados à vulnerabilidade social, insegurança alimentar, instabilidade climática e isolamento geográfico em zonas rurais podem agravar os quadros depressivos. Recentemente, estudos como o de Carvalho *et al.* (2021) vêm destacando que o modelo de produção agrícola baseado no uso intensivo de insumos químicos e no esgotamento dos recursos naturais contribui não apenas para danos ambientais, mas também para adoecimentos psicossociais nos trabalhadores do campo.

Diante desse cenário, torna-se urgente adotar políticas públicas integradas que articulem saúde mental, justiça social, segurança do trabalho e transição para modelos agroecológicos. A promoção de ambientes rurais saudáveis, a valorização da agricultura familiar e a substituição gradual de agrotóxicos por práticas sustentáveis são caminhos necessários para mitigar os impactos da depressão e outros transtornos associados à vida no campo.

6. Intoxicação voluntária

A intoxicação voluntária por agrotóxicos, geralmente associada a tentativas de suicídio, representa um grave problema de saúde pública, especialmente nas áreas rurais. Estudos revelam que o perfil dos indivíduos intoxicados de forma ocupacional ou acidental por esses compostos costuma apresentar predominância do sexo masculino, com idade entre 20 e 39 anos, refletindo diretamente a composição da força de trabalho rural (Petarli *et al.*, 2019). No entanto, quando se trata de tentativas de suicídio, embora os homens continuem sendo maioria, a diferença em relação às mulheres é menos acentuada,

sugerindo a presença de outros determinantes sociais e psicológicos além da simples exposição ocupacional (Pignat *et al.*, 2023; Soares *et al.*, 2020).

Os organofosforados, frequentemente utilizados em tentativas de suicídio, são substâncias de alta toxicidade aguda. O fato de serem escolhidos para este fim sugere que parte da população rural tem conhecimento da letalidade desses compostos, ainda que, paradoxalmente, esse conhecimento não seja suficiente para promover práticas seguras durante seu uso laboral. Esses pesticidas atuam por meio da inibição irreversível da enzima acetilcolinesterase, responsável pela degradação do neurotransmissor acetilcolina. Isso resulta em uma superestimulação colinérgica nos receptores muscarínicos e nicotínicos, causando sintomas graves como hipersalivação, sudorese, lacrimejamento, vômitos, dores abdominais, tremores, dificuldades respiratórias, convulsões e, em casos mais severos, morte (Eddleston *et al.*, 2008; Costa, 2022).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que, anualmente, ocorram entre 110 mil e 168 mil mortes por suicídio causadas por ingestão intencional de pesticidas, sendo essa uma das formas mais comuns de suicídio em zonas rurais de países de baixa e média renda (WHO, 2019). No Brasil, os dados do Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas (Sinitox) apontam que os agrotóxicos estão entre as principais causas de intoxicações com desfecho fatal, sendo as intoxicações voluntárias responsáveis por cerca de 60% dos óbitos relacionados a pesticidas (Sinitox, 2022) (Figura 6).



Figura 6. Manifestações iniciais na intoxicação por Paraquat. Fonte: Sinitox, 2022.

A vulnerabilidade psíquica dos trabalhadores rurais é agravada por condições socioeconômicas precárias, isolamento geográfico, dificuldades de acesso a serviços de saúde mental e pouca assistência técnica, elementos que se entrelaçam com o uso de substâncias químicas altamente tóxicas. Segundo estudos de Lima *et al.* (2022), a precarização do trabalho agrícola e a fragilidade das políticas públicas voltadas à saúde mental no campo contribuem para o aumento dos casos de intoxicação voluntária.

Frente a esse cenário alarmante, diversos especialistas e organismos internacionais têm defendido medidas de restrição ao uso de agrotóxicos de alta toxicidade, políticas de recolhimento de produtos obsoletos e programas de educação em saúde mental no meio rural, além do fortalecimento da atenção psicossocial nas comunidades agrícolas. A transição agroecológica é, também, um caminho apontado como necessário para reduzir a exposição a substâncias perigosas e criar ambientes mais saudáveis e resilientes (Figura 7).

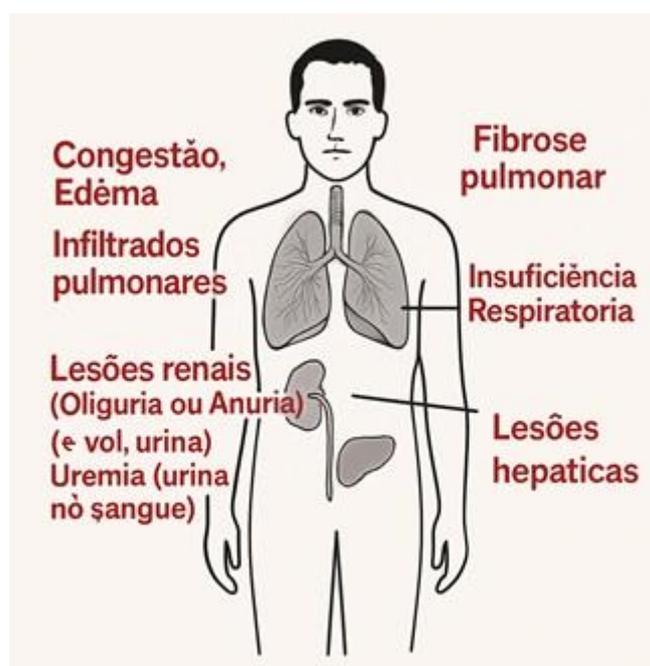


Figura 7. Manifestações tardias na intoxicação por Paraquat. Fonte: Lima *et al.*, 2022.

As manifestações tardias na intoxicação por agrotóxicos referem-se aos efeitos que não se apresentam imediatamente após a exposição, mas surgem dias, meses ou até anos mais tarde. Esses efeitos podem ser subdiagnosticados

ou até mesmo desconhecidos pelos próprios intoxicados, sendo frequentemente confundidos com outras doenças ou condições crônicas.

Principais manifestações tardias:

➤ **Distúrbios neurológicos persistentes**

✓ A exposição crônica a certos grupos de agrotóxicos, como organofosforados e carbamatos, pode desencadear efeitos neurológicos prolongados, mesmo depois de cessada a exposição inicial.

✓ Isso inclui neuropatias periféricas, déficits cognitivos, alterações comportamentais, transtornos do sono e sintomas semelhantes à doença de Parkinson (Mostafalou; Abdollahi, 2017; Costa, 2022).

➤ **Doenças endócrinas e reprodutivas**

✓ Agrotóxicos que atuam como disruptores endócrinos, como alguns piretroides e herbicidas à base de glifosato, podem afetar o sistema hormonal, alterando a função da tireoide, fertilidade, puberdade e metabolismo (Gonzalez *et al.*, 2020).

✓ Em mulheres, a exposição crônica está associada a irregularidades menstruais, abortos espontâneos e malformações congênitas em filhos.

➤ **Neoplasias (câncer)**

✓ Há evidências da relação entre exposição prolongada a agrotóxicos e o aumento do risco de linfomas não-Hodgkin, leucemias, câncer de próstata, cólon e mama (Alavanja *et al.*, 2013; Blair *et al.*, 2015).

✓ O tempo de latência entre a exposição e o surgimento do câncer pode ser de décadas, o que dificulta a associação causal direta.

➤ **Doenças autoimunes e respiratórias**

✓ Casos de asma persistente, bronquite crônica e fibrose pulmonar têm sido relatados em trabalhadores com exposição prolongada a pesticidas voláteis.

✓ Há também investigações em andamento sobre a relação entre agrotóxicos e doenças autoimunes como lúpus e artrite reumatoide (Meyer *et al.*, 2016).

➤ **Transtornos psiquiátricos**

✓ Além da depressão e ansiedade já discutidas, há indícios de que a exposição contínua pode provocar alterações neuroquímicas duradouras, levando a transtornos de personalidade, ideação suicida persistente e declínio cognitivo progressivo (Freire; Koifman, 2012).

As manifestações tardias desafiam os sistemas de saúde, principalmente pela dificuldade de estabelecer o nexo causal entre a exposição passada e o surgimento das doenças. Além disso, há pouco acompanhamento longitudinal de trabalhadores rurais, o que impede o diagnóstico precoce e a prevenção de agravamentos.

É urgente que se invista em monitoramento epidemiológico, capacitação profissional em saúde do trabalhador e políticas públicas de redução da exposição química, além da transição agroecológica, como forma de prevenir esses impactos de longo prazo (Figura 8).

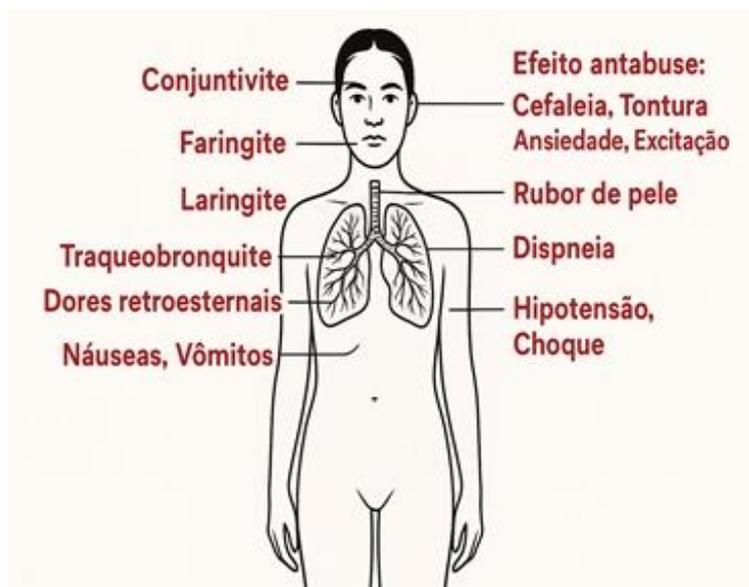


Figura 8. Tiocarbamatos e ditiocarbamatos: sintomatologia da intoxicação.

Fonte: Lima *et al.*, 2022.

8. Estudo de caso: Campanha Campo Limpo no município de Marechal Floriano – ES

A Lei Municipal nº 1.806/2017, do município de Marechal Floriano, estabelece a obrigatoriedade da coleta de embalagens vazias de agrotóxicos, como medida de proteção à saúde pública e ao meio ambiente. Em consonância com essa legislação, realiza-se anualmente, no mês de fevereiro, a **Campanha Campo Limpo**, que promove a coleta desses resíduos e orienta os agricultores quanto ao uso correto e seguro dos defensivos agrícolas.

Além da destinação adequada das embalagens, a iniciativa visa conscientizar os produtores rurais sobre boas práticas agrícolas, redução de riscos à saúde humana e conservação ambiental. A campanha já se consolidou no calendário municipal e conta, ano após ano, com significativa adesão dos agricultores locais, demonstrando o comprometimento da comunidade rural com a sustentabilidade e a responsabilidade socioambiental (Figura 9).



Figura 9. Coleta de embalagens de agrotóxicos em Marechal Floriano, ES. Fonte: Ubaldino Saraiva, 2023.

O descarte adequado das embalagens de agrotóxicos é obrigatório de acordo com a legislação estadual vigente. Conforme a **Lei Estadual nº 5.760, de 02 de dezembro de 1998**, alterada pela **Lei Estadual nº 6.469, de 11 de dezembro de 2000**, os estabelecimentos comerciais que comercializam agroquímicos são obrigados a receber e armazenar as embalagens vazias, garantindo assim uma destinação ambientalmente apropriada e evitando a

contaminação decorrente do descarte inadequado (Figura 10).

Essa exigência legal visa não apenas a reduzir o impacto ambiental causado pelos resíduos tóxicos, mas também a promover a conscientização sobre o gerenciamento seguro de resíduos de agrotóxicos. Ao incentivar a coleta e o reaproveitamento dos materiais das embalagens, a legislação contribui para a minimização dos riscos à saúde humana e a preservação dos ecossistemas. Além disso, a iniciativa fortalece a cadeia de responsabilidade entre fornecedores, comerciantes e consumidores, promovendo uma gestão integrada dos resíduos.



Figura 10. Agricultores recebendo mudas de espécie nativas para reflorestar APPs, em suas, Marechal Floriano, ES. Fonte: Ubaldino Saraiva, 2023.

Medidas como essa se revelam essenciais para a implantação de políticas públicas que visem o desenvolvimento sustentável da agricultura e a proteção dos recursos ambientais, sendo um exemplo de como a legislação pode atuar de forma proativa na redução dos impactos ambientais associados ao uso de agroquímicos.

Portanto, muitos produtores optam por participar ativamente da Campanha Campo Limpo, reconhecendo seus benefícios tanto para a saúde quanto para o meio ambiente. Durante o evento, são distribuídos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), realizados atendimentos de saúde e promovidas palestras com profissionais das áreas da saúde e da agronomia. Essas atividades têm como objetivo principal orientar os agricultores sobre o uso seguro de agrotóxicos e

reforçar a importância da proteção individual no manuseio desses produtos.

Além disso, é realizada a coleta de sangue para a dosagem das enzimas colinesterase plasmática e colinesterase eritrocitária, com foco na detecção precoce de alterações relacionadas à exposição a inseticidas organofosforados e, ou, carbamatos. Essa análise é particularmente importante para trabalhadores rurais e Agentes de Combate às Endemias (ACE), pois permite identificar casos de inibição enzimática, incluindo aqueles associados a formas atípicas da enzima, que indicam intoxicação ocupacional.

Em média, cerca de 150 pessoas são atendidas a cada edição da campanha. Como parte das ações de responsabilidade socioambiental, os agricultores participantes também recebem mudas de espécies nativas da Mata Atlântica, com o objetivo de estimular o reflorestamento de Áreas de Preservação Permanente (APP) em suas propriedades. A Figura 10 ilustra uma dessas ações, evidenciando o engajamento dos produtores na recuperação ambiental e na promoção da sustentabilidade em suas atividades.

9. Considerações

O uso de agrotóxicos é uma realidade consolidada na agricultura moderna, sendo adotado globalmente como ferramenta para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas. O Brasil, como uma das maiores potências agrícolas do planeta, destaca-se entre os maiores consumidores de agroquímicos, o que levanta preocupações relacionadas à saúde humana, à contaminação ambiental e à sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Apesar dos benefícios agrônômicos relacionados ao aumento da produtividade, o uso intensivo e, muitas vezes, indiscriminado dos agrotóxicos impõe sérios riscos à saúde dos trabalhadores rurais, das populações expostas direta ou indiretamente, e à biodiversidade dos ecossistemas agrícolas e naturais. A recorrência de casos de intoxicação, distúrbios neurológicos, impactos psicológicos e suicídios associados ao uso de pesticidas evidencia a urgência de se repensar esse modelo de produção.

Reduzir a dependência de substâncias químicas de alta toxicidade é um desafio urgente e inadiável. Para isso, torna-se indispensável o investimento

contínuo em pesquisa científica, visando o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e eficazes, como os bioinsumos, o controle biológico, a adubação verde, os sistemas agroflorestais e o manejo ecológico de pragas. A ciência e a inovação têm papel estratégico na transição para uma agricultura de baixo impacto ambiental.

Além disso, é essencial fortalecer a educação rural, a assistência técnica e a extensão agroecológica, promovendo a conscientização dos agricultores sobre os riscos do uso inadequado dos insumos químicos e os benefícios de práticas mais seguras e ambientalmente responsáveis. Programas de capacitação, como o treinamento sobre o uso correto de EPIs, a leitura de rótulos e bulas, e o descarte adequado de embalagens, devem ser amplamente difundidos, especialmente entre os pequenos produtores.

A sociedade como um todo — agricultores, consumidores, pesquisadores, legisladores e formadores de opinião — tem um papel central na construção de uma agricultura mais justa, ética e sustentável. Cabe aos consumidores valorizar produtos oriundos de práticas ambientalmente equilibradas e socialmente justas; ao Estado, formular e implantar políticas públicas que incentivem a produção agroecológica; e às instituições de ensino e pesquisa, ampliar o acesso ao conhecimento e fomentar a inovação voltada ao campo.

Para alcançar a tão desejada segurança alimentar com responsabilidade socioambiental, é imprescindível que o modelo agrícola evolua para práticas que respeitem os limites ecológicos do planeta. A promoção de uma agricultura sustentável deve caminhar lado a lado com o combate à pobreza rural, a proteção da saúde pública, a valorização do trabalho no campo e a conservação dos recursos naturais.

Portanto, reduzir a dependência de agrotóxicos não é apenas uma questão técnica, mas também ética e política. Trata-se de um compromisso coletivo com as futuras gerações, com a soberania alimentar e com o direito de todos a um ambiente saudável e equilibrado, como assegura a Constituição Federal de 1988. Assim, o caminho para uma agricultura mais resiliente, saudável e sustentável passa por decisões conscientes, políticas públicas consistentes e pelo engajamento ativo de toda a sociedade brasileira.

10. Referências

ALAVANJA, M. C. R. *et al.* (2013). Cancer risk and pesticide exposure: Recent trends and perspectives. **Environmental Health Perspectives**, v. 121, n. 9, p. 1021-1026, 2013.

AMES, R. G.; STEENLAND, K; JENKINS, B.; CHRISLIP, D.; RUSSO, J. Chronic neurological sequelae to cholinesterase inhibition among agricultural pesticide applicators. **Arch Environ Health**, n. 50, p. 440-444, 1995.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2002. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos**. Relatório Anual 4/06/2001 a 30/06/2002. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Divulgado o monitoramento de agrotóxicos em alimentos**. Brasília, DF. Publicado em 15 de abril de 2009. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/divulga/noticias>>

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamentação. **Anvisa aprova novo marco regulatório para agrotóxicos**. Brasília, DF: ANVISA, 2019.

BESELER, C. L. *et al.* Depression and pesticide exposures in the Agricultural Health Study. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 50, n. 9, p. 1005-1011, 2008.

BLAIR, A. *et al.* Pesticides and human health: Research and regulatory issues. **Environmental Health Perspectives**, v. 123, n. 8, p. 700–705, 2015.

BORGES, E. A. *et al.* Levantamento do uso de equipamento de proteção individual para aplicação de agrotóxicos entre os agricultores de campanha. In: CARNEIRO, L. **Anais... XIX Encontro Iniciação Científica e IV Mostra de Extensão**. Periódicos Unicor. Iniciação Científica. 2017.

BRASIL. **Boletim Epidemiológico**. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Ministério da Saúde. v. 54, n. 12, 2023.

CARNEIRO, F. F. *et al.* **Dossiê Abrasco: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. 2. ed. Rio de Janeiro: EPSJV/Fiocruz; São Paulo: Expressão Popular. 2023.

CARNEIRO, F. F.; PIGNATI, W. A.; RIGOTTO, R. M.; AUGUSTO, L. G. S.; RIZOLLO, A.; MULLER, N. M.; ALEXANDRE, V. P. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. 2015. Expressão Popular. São Paulo: ABRASCO. ISBN: 978-85-7654-188-6.

CARVALHO, L. A. S. *et al.* Agrotóxicos, sofrimento e saúde mental: contribuições da agroecologia para o cuidado no campo. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, n. 7, p. 2839-2848, 2021.

CASARETT, L. J.; DOULL, J. **Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons**. 9. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2019.

COSTA, L. G. *Toxic effects of pesticides on the nervous system*. In: GUPTA, R. C. (Ed.). **Toxicology of Pesticides**. Academic Press, 2022.

DICKERSON, A. C.; WU, Z.; LIEW, M. W. Uma revisão abrangente das exposições não ocupacionais a poluentes ambientais e depressão, ansiedade e suicídio em adultos. **Atual. Meio Ambiente**. Representante de Saúde, n. 7, p. 256-27, 2020.

ECOBICHON, D. J. Toxic effects of pesticides. In: KLAASEN, C. D.; AMDUR, M.O.; DOULL, J. (Ed.). **Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons**. New York: McGraw-Hill; 1996. p. 165-176.

EDDLESTON, M. *et al.* Management of acute organophosphorus pesticide poisoning. **Lancet**, v. 371, n. 9612, p. 597-607, 2008.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT: Pesticides Use**. Rome, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 12 out. 2024.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Pesticide management and sustainable agriculture**. Roma: FAO, 2021.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point**. Rome: FAO, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 16 maio 2025.

FARAHAT, T. M.; ABDELRASOUL, G. M.; AMR, M. M.; SHEBL, M. M.; FARAHAT, F. M.; ANGER, W. R. Neurobehavioural effects among workers occupationally exposed to organophosphorous pesticides. **Occup Environ Med**, n. 60, p. 279-286, 2003.

FARIA, N. M. X. *et al.* Exposição a agrotóxicos e efeitos à saúde: uma revisão crítica. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 37, n. 6, 2021.

FERREIRA, M. J.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. P. Exposição crônica a agrotóxicos e seus impactos sobre a saúde humana. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 45, 2020.

FREIRE, C.; KOIFMAN, S. Pesticide exposure and mental health: A review. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, n. 3, p. 438-448, 2012.

GARCIA-PEREZ, J. *et al.* Occupational exposure to pesticides and suicide risk in rural populations: A review of epidemiological evidence. **Environmental Research**, v. 163, p. 284-292, 2018.

GONZALEZ, N. *et al.* Endocrine-disrupting chemicals: Implications for human health. **The Lancet Diabetes & Endocrinology**, v. 8, n. 8, p. 653-666, 2020.

HENDGES, C. *et al.* Human intoxication by agrochemicals in the region of South Brazil between 1999 and 2014. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 54, n. 4, p. 219-225, 2019.

IBAMA. **Relatório de Avaliação de Riscos Ambientais de Agrotóxicos**. Brasília: IBAMA, 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saúde 2019**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.

INCA. Instituto Nacional de Câncer. **Agrotóxico**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxico>> Acesso em: 17 dez. 2023.

IPEN. International Pollutants Elimination Network. **Pesticide use in Brazil and impacts on human health and the environment**. Available at: <https://ipen.org>. 2022.

JEYARATNAM, J. Acute pesticide poisoning: a major global health problem. **World Health Stat Quaterly**, v. 43, n. 3, p. 139-144, 1990.

KLAASSEN, C. D. **Casarett & Doull's Essentials of Toxicology**. 3rd Edition. New York: McGraw-Hill Education. 2019. ISBN: 978-1259863745.

LEVIEN, R. S.; DOULL, J. Global estimates of acute pesticide morbidity and mortality. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, n. 129, p. 29-44, 1993.

LIMA, M. N. *et al.* Trabalho rural, saúde mental e suicídio: análise crítica de políticas públicas brasileiras. **Saúde em Debate**, v. 46, n. 132, p. 845-858, 2022.

LOPES C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde Debate**, n. 42, p. 518-534, 2018.

MALEKI, Z.; NOORIMOTLAGH, N.; RAHIM, F.; MARTINEZ, S. S.; JAAFARZADEH, M. S. A. Uma revisão sistemática atualizada sobre a exposição materna a pesticidas ambientais e mecanismos envolvidos no risco de progressão do transtorno do espectro do autismo (TEA) em crianças. **Rev. Meio Ambiente**. Saúde, 2022. DOI: 10.1515/reveh-2022-0092.

MEDEIROS, M. A. R. *et al.* Exposição ambiental a agrotóxicos no Brasil: evidências recentes e implicações para a saúde coletiva. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 47, e19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-6369000253321>

MESNAGE, R. *et al.* **Glyphosate exposure and health outcomes: a systematic review**. *Environmental Health*, v. 22, n. 1, p. 10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12940-023-00944-y>

MEYER, A. *et al.* Pesticide exposure and autoimmune disease: A systematic review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 6, p. 643, 2016.

MOREIRA, J. C. *et al.* Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo, RJ. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 7, 2002, p. 299-311.

MOREIRA, J. C.; PERES, F.; SIMÕES, A. C.; PIGNATI, W. A. Os impactos dos agrotóxicos na saúde dos trabalhadores rurais. **Saúde e Sociedade**, v. 21, n. 1, p. 53-62, 2012. DOI:10.1590/S0104-12902012000100006.

MOSTAFALOU, S.; ABDOLLAHI, M. Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives. **Toxicology and Applied Pharmacology**, n. 324, p. 94-104, 2017.

MURRAY, D. L.; TAYLOR, P. L. Claim no easy victories: evaluating the pesticide industry's Global Safe Use campaign. **World Development**, New York, v. 28, p. 17351749, 2000.

NEVES, M. S. *et al.* Determinação social do processo saúde adoecimento mental de trabalhadores rurais no Brasil. **ACENO**, v. 7, n. 14, p. 231-248, 2020.

OLIVEIRA-SILVA, J. J.; ALVES, S. R.; INÁCIO, A. F. Cholinesteraseactivities determination in frozen blood samples: an improvement to the occupational monitoring in developing countries. **Human & Experimental Toxicology**, n. 19, p. 173-177, 2000.

OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Pesticides and health: how WHO is addressing the impact of toxic chemicals on health**. Geneva: WHO, 2022. Disponível em: <https://www.who.int>. Acesso em: 16 maio 2025.

PAN. Pesticide Action Network. **Alternatives to Highly Hazardous Pesticides**. 2022.

PAN. Pesticide Action Network. **Toxicity and human health risks of pesticides**. 2022.

PARRON, T.; HERNANDEZ, A. F.; VILLANUEVA, E. Increased risk of suicide with exposure to pesticides in an intensive agricultural area. A 12-year retrospective study. **Forensic Sci Int**, n. 79, p. 53-63, 1966.

PERES, F. **É veneno ou é remédio?** Os desafios da comunicação rural sobre agrotóxicos. 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fiocruz, Rio de Janeiro, 1999.

PERES, F.; MOREIRA, J. C. **Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema**. Fundação Oswaldo Cruz. 2007. Rio de Janeiro: Fiocruz. ISBN: 978-85-7541-142-4.

PETARLI, G. B.; CATTAFESTA, M.; LUZ, T. C. D.; ZANDONADE, E.; BEZERRA, O. M. D. P. A.; SALAROLI, L. B. Exposição ocupacional a agrotóxicos, riscos e práticas de segu rança na agricultura familiar em município do estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, p. 44, 2019.

PICKETT, W.; KING, W. D.; LEES, R. E.; BIENEFELD, M.; MORRISON, H. I.; BRISON, R. J. Suicide mortality and pesticide use among Canadian farmers. **Am J Ind Med**, n. 34, p. 364-372, 1998.

PIGNAT, C. *et al.* Pesticide self-poisoning and suicides: a review of global trends. **Environmental Health Perspectives**, v. 131, n. 2, 2023.

PIGNATI, W. A. *et al.* Agrotóxicos e saúde: uma abordagem integrada e sistêmica. **Saúde em Debate**, v. 45, 2021.

PIGNATI, W. A. O caráter pandêmico dos desastres socioambientais e sanitários do agronegócio. **Saúde em Debate [online]**. 46 (spe2). 2022. [Acessado 17 de Dez. 2023], p. 467-481. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-11042022E231>>. E pub 04 Jul 2022. ISSN 2358 -2898. <https://doi.org/10.1590/0103-11042022E231>.

PIGNATI, W.; MACHADO, J. M. H.; CABRAL, J. F.; LIMA, F. A. N. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281-3293, 2014. DOI: 10.1590/1413-812320172210.18942017.

PIMENTEL, D. Green revolution agriculture and chemical hazards. **The Science of the Total Environment**, v. 188, n. 1, p. S86-S98, 1996.

PIRES, D. X. *et al.* Pesticide poisoning in Dourados, Mato Grosso do Sul State, Brazil, 1992/2002. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, n. 3, 2005, p. 804-814. SciELO.

PONTES, A. G. V.; RIGOTTO, R. M. Saúde do Trabalhador e Saúde Ambiental: potencialidades e desafios da articulação entre universidade, SUS e movimentos sociais. **Rev. Bras. Saúde Ocup.** v. 39, n. 130, p. 161-174, 2014.

QUEIROZ, P. R. *et al.* Sistema de Informação de Agravos de Notificação e as intoxicações humanas por agrotóxicos no Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, Rio de Janeiro, v. 22, e190033, 2019. <https://doi.org/10.1590/1980-549720190033>.

RECENA, M. C. R.; CALDAS, E. D.; PIRES, D. X. Intoxicações por agrotóxicos na população rural do Estado de Mato Grosso do Sul no período 1992-2002. **Sci Total Environ** - submetido.

REQUENA-MULLOR, A.; NAVARRO-MENA, R.; WEI, O.; LÓPEZ-GUARNIDO, D.; LOZANO-PANIAGUA. ALARCON-RODRIGUEZ. Avaliação das alterações gonadais em uma população ambientalmente exposta a uma mistura de pesticidas endócrinos ativos. *Int. J. Meio Ambiente*. **Res. Saúde Pública**, n. 18, 2021.

RIBAS, P. P.; MATSUMURA, A. T. S. A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 10, n. 14, p. 149-158, 2009.

RIGOTTO, R. M.; VASCONCELOS, D. P.; ROCHA, M. M.; SILVA, A. M. Exposição a agrotóxicos e riscos à saúde humana e ao ambiente: desafios para a saúde coletiva. **Saúde em Debate**, v. 37, n. 96, p. 28-42, 2013. DOI:10.1590/S0103-110420130001000 03.

ROSS, J. H.; DRIVER, J. H.; COCHRAN, R. C.; THONGSINTHUSAK T.; KRIEGER, R. I. Could pesticide toxicology studies be more relevant to occupational risk assessment? **Annals... of Occupational Hygiene**, New York, v.45, n.1001, p.S5-S17, 2001.

SILVA, D. F.; GOMES, J. E.; ALMEIDA, M. P. Boas práticas para o uso seguro de agrotóxicos no campo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 23, 2022.

SILVA, D. O *et al.* Exposição aos agrotóxicos e intoxicações agudas em região de intensa produção agrícola em Mato Grosso, 2013. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 28, n. 3, p. e2018456, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5123/s1679-49742019000300013>.

SILVA, E. C. *et al.* Agrotóxicos e saúde ambiental: um panorama das contaminações e estratégias de mitigação no Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 2, p. 55–67, 2023. <https://revistas.aba-agroecologia.org.br>

SILVA, M. H.; MATTOS, M. C. Impactos dos agrotóxicos na saúde humana: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 18, n. 1, p. 219-234, 2015. doi:10.1590/1980-5497201500010017.

SINITOX. Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas. **Dados de intoxicação exógena por agrotóxicos no Brasil**: relatório 2022. Fiocruz, 2023.

SIQUEIRA, S. L.; KRUSE, M. H. L. Agrotóxicos e saúde humana: contribuição dos profissionais do campo da saúde. **Rev. Esc. Enferm. USP**, São Paulo, v. 42, n. 3, 2008.

SOARES, W. L.; PORTO, M. F. S. Pesticide exposure and suicide among agricultural workers: a review. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 1, p. e00128818, 2020.

Van WIJNGAARDEN, E. An exploratory investigation of suicide and occupational exposure. **J Occup Environ Med**, n. 45, p. 96-101, 2003.

WHO. World Health Organization. **Preventing suicide**: a global imperative. Geneva: WHO, 2019.

WHO. World Health Organization. **Depression and Other Common Mental Disorders**: Global Health Estimates. Geneva: WHO, 2023.

WHO. World Health Organization. **Preventing harm from pesticides**. Geneva: WHO, 2020.

WHO. World Health Organization. **Public health impact of pesticides used in agriculture**. Geneva: World Health Organization, 1990.

CAPÍTULO 10

Entre o cultivo e o compromisso: agroecologia, justiça social e sustentabilidade em debate

Jéssica Delesposte Destefani, Simone Wellita Simão de Carvalho, André Geaquinto Ferri, Otávio Pereira Araujo, Atanásio Alves do Amaral, Clarissa Alves de Novaes, Maria Aparecida Fernandes, Márcio Menegussi Menon, Maria Angélica Alves da Silva Souza, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-34-3.c10>

Resumo

A agroecologia se consolida como uma alternativa viável e urgente ao modelo agroindustrial hegemônico, ao integrar práticas agrícolas sustentáveis com princípios ecológicos e uma profunda dimensão social e política. Os sistemas agroecológicos valorizam os saberes tradicionais, a diversidade biológica e o uso racional dos recursos naturais, promovendo a autonomia dos agricultores familiares, o fortalecimento das economias locais e a soberania alimentar das comunidades. Além de reduzir a dependência de insumos externos, esses modelos incentivam práticas regenerativas do solo e da biodiversidade, e favorecem a inclusão de populações historicamente marginalizadas, como mulheres, povos indígenas e comunidades tradicionais. Assim, a agroecologia reafirma seu caráter político ao contribuir para a justiça agrária e a democratização do acesso à terra. Ao articular produção agrícola, conservação ambiental e organização social, a agroecologia revela-se estratégica para o desenvolvimento rural sustentável, especialmente diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, pela degradação ambiental e pelas desigualdades estruturais que marcam o campo brasileiro.

Palavras-chave: Agricultura familiar. Saberes tradicionais. Práticas regenerativas. Desenvolvimento rural sustentável. Soberania alimentar. Justiça e inclusão social.

1. Introdução

O crescimento acelerado da população mundial intensificou um problema estrutural: o aprofundamento das desigualdades sociais — realidade presente na maioria dos países e particularmente alarmante no Brasil. Embora possua vastos recursos naturais e grande potencial produtivo, o país ainda convive com expressivos índices de exclusão, pobreza e insegurança alimentar, o que evidencia um cenário de injustiça social persistente.

Nesse contexto, a agroecologia emerge como uma abordagem multidimensional que integra princípios ecológicos, sociais, econômicos, políticos, culturais e éticos. Mais do que um modelo alternativo de produção agrícola, ela representa um projeto político baseado na valorização dos saberes tradicionais, na promoção da soberania alimentar, na justiça socioambiental e na resistência ao modelo agroindustrial hegemônico (Altieri; Nicholls, 2020; Gleiser *et al.*, 2022). Impulsionada por movimentos sociais do campo e da cidade, a agroecologia demanda políticas públicas estruturantes, participativas e de longo prazo, sendo reconhecida como uma estratégia fundamental diante das crises ecológica, climática e alimentar que afetam os sistemas produtivos e a vida no planeta.

A desigualdade socioeconômica no Brasil é historicamente enraizada, naturalizada por parte da população e sustentada por um sistema concentrador de renda, terra e poder. O diagnóstico atual revela que o país não é pobre, mas sim profundamente desigual: trata-se de uma nação com muitos pobres em uma estrutura marcada por privilégios (Souza, 2018; IPEA, 2023). Enfrentar essa desigualdade exige ações integradas e duradouras, com políticas públicas orientadas por princípios de justiça social e eficiência econômica, articuladas em diferentes escalas e dimensões (Barros *et al.*, 2000; Schwartzman, 2021; Souza, 2024).

Diante desses desafios, a Organização das Nações Unidas (ONU) elaborou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, um pacto global firmado em 2015 por 193 países, com o objetivo de erradicar a pobreza em todas as suas formas e dimensões, proteger o planeta e assegurar prosperidade para todos. A Agenda é composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas interconectadas, que abordam aspectos econômicos, sociais, ambientais, culturais e políticos da sustentabilidade (ONU, 2015; FAO, 2021). Entre os

principais compromissos está o ODS 2: “Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e a melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável” — objetivo diretamente relacionado à agroecologia e ao fortalecimento de sistemas alimentares justos, resilientes e inclusivos (Figura 1).



Figura 1. Agenda 2030: plano de ação que apresenta objetivos e metas. Fonte: ONU, 2015.

Entre as diversas preocupações contemporâneas, destaca-se a necessidade de repensar os modelos de produção de alimentos e o saneamento ambiental frente ao crescimento acelerado da população mundial. O aumento da produtividade em diversos ramos industriais, somado ao consumo excessivo, tem contribuído significativamente para o agravamento de problemas ambientais. A intensificação da produção de resíduos, frequentemente descartados de forma inadequada, tem causado a poluição de corpos hídricos, a proliferação de vetores de doenças e o esgotamento dos nutrientes do solo por meio da erosão (Souza, 2015a; Souza, 2015b; Souza, 2018; Gonçalves, 2019; Sotto *et al.*, 2019; FAO, 2021; IPCC, 2023; Souza, 2024; 2025).

Infelizmente, a sociedade contemporânea segue explorando os recursos naturais de forma predatória, orientada principalmente pela lógica do lucro e da acumulação. Tal modelo ignora os limites de regeneração dos ecossistemas e

ultrapassa, sistematicamente, as fronteiras ecológicas do planeta. Os recursos naturais são extraídos em um ritmo muito superior à sua capacidade de renovação, gerando um cenário de insustentabilidade generalizada — com impactos significativos tanto no meio ambiente quanto nas dinâmicas sociais (Rockström *et al.*, 2009; Souza, 2014; Meadows *et al.*, 2017; Zacarias; Souza, 2019).

Nesse contexto, a agricultura familiar se consolida como um dos pilares para a construção de um modelo de desenvolvimento rural mais justo e sustentável. Ao abarcar práticas produtivas diversificadas, adaptadas a diferentes realidades ecológicas e culturais, essa forma de produção promove a justiça social, a equidade e a soberania alimentar. Além disso, serve como base para a formulação de políticas públicas e estratégias de investimento voltadas à transição para sistemas alimentares resilientes e equilibrados, tanto do ponto de vista ambiental quanto socioeconômico (Altieri; Nicholls, 2020; Silva *et al.*, 2022).

Com o aumento contínuo da demanda por alimentos e água, crescem também as pressões sobre os sistemas produtivos e os recursos hídricos (Figura 2). Diante desse cenário, a sustentabilidade deixa de ser apenas uma pauta política ou moral para se tornar uma exigência concreta e urgente de sobrevivência planetária (Hundley, 2013; Souza *et al.*, 2013; Souza, 2021; Willett *et al.*, 2019).

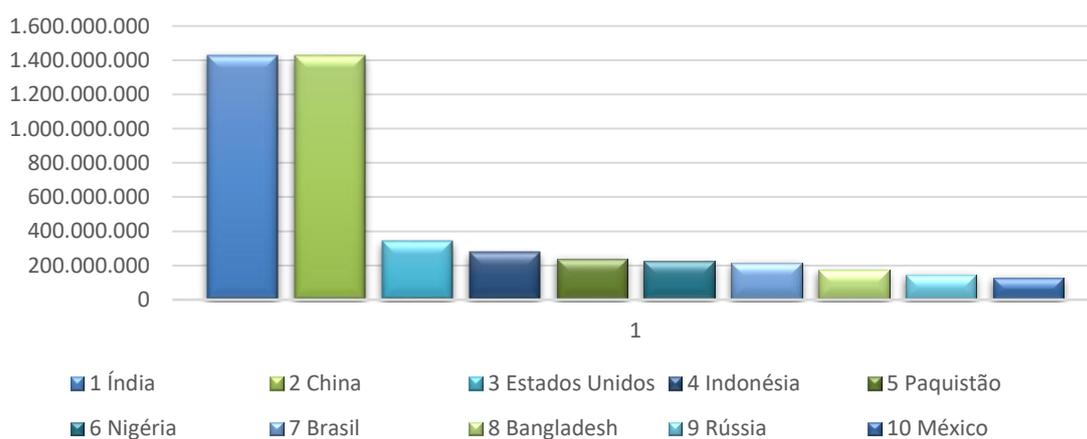


Figura 2. Demanda por alimentos e água *Fonte: Projeções populacionais probabilísticas baseadas nas Perspectivas da População Mundial 2022 e Anuário Estatístico (ONU).*

É inegável que o Brasil possui uma das maiores populações do planeta e uma economia de grande porte. No entanto, o país encerrou o ano de 2024 na 10ª posição entre as maiores economias do mundo, após ter sido superado pelo Canadá. De acordo com a agência de classificação de risco Austin Rating, o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro foi estimado em US\$ 2,18 trilhões, enquanto o canadense atingiu US\$ 2,21 trilhões no mesmo período (Austin Rating, 2025).

Um dos principais fatores que explicam essa queda no ranking global é a significativa desvalorização do real frente ao dólar norte-americano em 2024. A moeda americana ultrapassou, pela primeira vez, a marca de R\$ 6,00, acumulando uma valorização de 27% em relação ao real — a maior registrada nos últimos quatro anos (G1 Economia, 2025).

Apesar da retração relativa em termos internacionais, o PIB brasileiro alcançou R\$ 11,7 trilhões em 2024, representando um crescimento real de 3,4% em comparação a 2023, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025). É importante observar que o Brasil ocupou a 9ª posição em 2023 e chegou a ser a 7ª maior economia mundial entre os anos de 2010 e 2014. Em 2020, no entanto, o país foi excluído do grupo das dez maiores economias, retornando apenas em 2023 (FMI, 2024; IPEA, 2024).

Paralelamente à sua relevância econômica, o Brasil enfrenta uma profunda desigualdade social, que se manifesta de forma estrutural e persistente. Tal disparidade resulta em sérias consequências de ordem socioeconômica e ambiental, impactando diretamente a qualidade de vida da população, o acesso a direitos básicos e a sustentabilidade dos recursos naturais (Oxfam Brasil, 2023; PNUD, 2023) (Figura 3).

Diante desse cenário, as perspectivas globais para a segurança alimentar não são animadoras. De acordo com o relatório mais recente da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), publicado em 2020, estima-se que, até 2030, a fome afetará cerca de 841,4 milhões de pessoas, o equivalente a 9,8% da população mundial (FAO, 2020).

Diversos fatores contribuem para esse agravamento. Conflitos armados e desastres naturais costumam provocar interrupções pontuais no acesso aos

alimentos, gerando insegurança alimentar em determinadas regiões. No entanto, a principal causa, de caráter mais estrutural e difuso, é a insuficiência de renda para a aquisição de alimentos, configurando um problema crônico e globalmente disseminado.



Figura 3. Ranking das maiores economias do mundo. Fonte: Austin Rating, 2025.

A crise da segurança alimentar no mundo foi agravada pela pandemia da COVID-19, que impactou não apenas o acesso físico e econômico aos alimentos, mas também aprofundou desigualdades sociais e regionais já existentes. Além do consumo insuficiente, há populações que, mesmo com acesso calórico minimamente adequado, enfrentam dietas desequilibradas do ponto de vista nutricional. Essa alimentação pobre em diversidade e qualidade pode provocar a má nutrição em suas múltiplas formas — desnutrição, deficiência de micronutrientes e obesidade — e configura hoje uma das maiores preocupações de saúde pública global (FAO *et al.*, 2022).

A desigualdade é um fator central nesse contexto. Dados recentes indicam que regiões como América do Norte e Europa mantêm níveis de subnutrição abaixo de 2,5% da população, enquanto áreas da África, América Latina e Oceania tendem a apresentar piora nos indicadores até 2030, conforme as projeções do *Atlas da Segurança Alimentar e Nutricional* (ATLAS..., 2021). A distribuição desigual de

renda, terra, acesso a serviços públicos e alimentos de qualidade agrava ainda mais essas disparidades.

No Brasil, a modernização do campo iniciada nos anos da década de 1970 transformou o país em uma potência agropecuária mundial. Mesmo sem abandonar culturas tradicionais como a cana-de-açúcar e o café, o Brasil ampliou exponencialmente a produção de grãos. Para se ter uma ideia, a produção saltou de 50,8 milhões de toneladas em 1980 para quase 257 milhões em 2020 — um aumento de aproximadamente cinco vezes (IBGE, 2021). Esse desempenho consolidou o agronegócio como o setor mais dinâmico da economia nacional, abastecendo mais de 160 países com alimentos considerados seguros, acessíveis e de qualidade.

No entanto, esse modelo de desenvolvimento produtivista e voltado à exportação — herança da chamada Revolução Verde — trouxe consigo uma série de contradições e impactos negativos. De acordo com Costa (2011), Reis, Souza e Garcia (2013), e autores mais recentes como Graziano da Silva (2020), Souza (2021) e Altieri *et al.* (2022), o Brasil adotou um padrão tecnológico baseado na intensificação do uso de insumos químicos, mecanização e monocultivos extensivos, com foco na maximização da produtividade, muitas vezes em detrimento da conservação ambiental e da justiça social.

Nos últimos anos, a valorização das *commodities* agrícolas tem impulsionado a elevação dos preços dos alimentos no mercado interno, acirrando a exclusão de parcelas vulneráveis da população do acesso a alimentos básicos (IPEA, 2023). O modelo dominante do agronegócio, que ocupa cerca de 43% das terras agricultáveis brasileiras com monoculturas de soja e pecuária extensiva, é também responsável por diversos efeitos colaterais: concentração fundiária, desmatamento, esgotamento dos solos, perda da biodiversidade, poluição hídrica e expulsão de comunidades tradicionais dos territórios (Mendonça; Ribeiro, 2022; Ferreira *et al.*, 2023).

Além disso, o predomínio da lógica mercantil e exportadora na agricultura brasileira tem contribuído para o enfraquecimento das práticas agroecológicas, do conhecimento tradicional camponês e do “saber fazer” construído ao longo de gerações por agricultores familiares. Isso tem provocado uma erosão sociocultural, colocando em risco modos de vida sustentáveis e historicamente adaptados aos

biomas locais (Junges, 2008; Martins; Romarco; Souza, 2013; Caporal; Costabeber, 2021).

Diante desse cenário, torna-se urgente o investimento em pesquisas, políticas públicas e ações concretas que promovam a transição para sistemas alimentares sustentáveis. Essa transição deve estar ancorada na ampliação do saneamento básico e ambiental, na diminuição das desigualdades sociais e na valorização dos agrossistemas biodiversos. É fundamental adotar estratégias de manejo que considerem a regeneração dos ecossistemas, o respeito às comunidades tradicionais, o fortalecimento da agricultura familiar e o incentivo à agroecologia como base para a produção sustentável e socialmente justa (Romeiro, 2021; Ferrante; Feltran-Barbieri; Ferreira, 2022; HLPE, 2023).

2. Paradoxo da abundância: produtividade elevada e insegurança alimentar

O agronegócio representa mais de 21% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil e cerca de 22% do PIB mundial, consolidando-se como uma das principais atividades econômicas em escala global. Por essa razão, o tema desperta o interesse de pesquisadores em diferentes áreas do conhecimento, uma vez que está diretamente relacionado ao comércio internacional e aos desafios contemporâneos de sustentabilidade. Entre as principais questões levantadas estão os impactos socioambientais da produção em larga escala, a expansão de monoculturas, a perda de biodiversidade, o manejo inadequado dos recursos naturais e o afastamento dos princípios ecológicos (Vargas; Borba; Godoy, 2013; FAO, 2023).

A partir de uma análise sistêmica e integrada, observa-se que o modelo de agricultura convencional está estruturado em torno da maximização da produção e do lucro. Esse modelo se baseia em seis práticas fundamentais: cultivo intensivo do solo, monocultivo, irrigação artificial, uso de fertilizantes inorgânicos, controle químico de pragas e manipulação genética de plantas (Gliessman, 2001; Souza; Mata; Martins, 2014). Apesar de promover ganhos expressivos em produtividade, esse sistema tem contribuído para o aprofundamento das desigualdades sociais e para a degradação ambiental.

Segundo Souza *et al.* (2013b) e Altieri *et al.* (2015), o agronegócio global foca quase exclusivamente no aumento da produção de alimentos, mas ignora que o principal obstáculo à erradicação da fome não é a escassez produtiva, e sim a forma desigual como os alimentos são distribuídos. O fenômeno da insegurança alimentar, portanto, persiste mesmo em contextos de abundância, refletindo a concentração de renda, a exclusão social e as falhas nos sistemas de abastecimento e políticas públicas de garantia do direito à alimentação (Figura 4).

Apesar do expressivo aumento da produtividade e da produção agropecuária nas últimas décadas, o modelo convencional tem sido apontado como um dos principais responsáveis pela degradação dos solos. Tal cenário resulta do uso intensivo e inadequado do solo, da negligência quanto às práticas conservacionistas e do uso excessivo de agroquímicos, evidenciando a insustentabilidade desse sistema (Altieri; Nicholls, 2020).

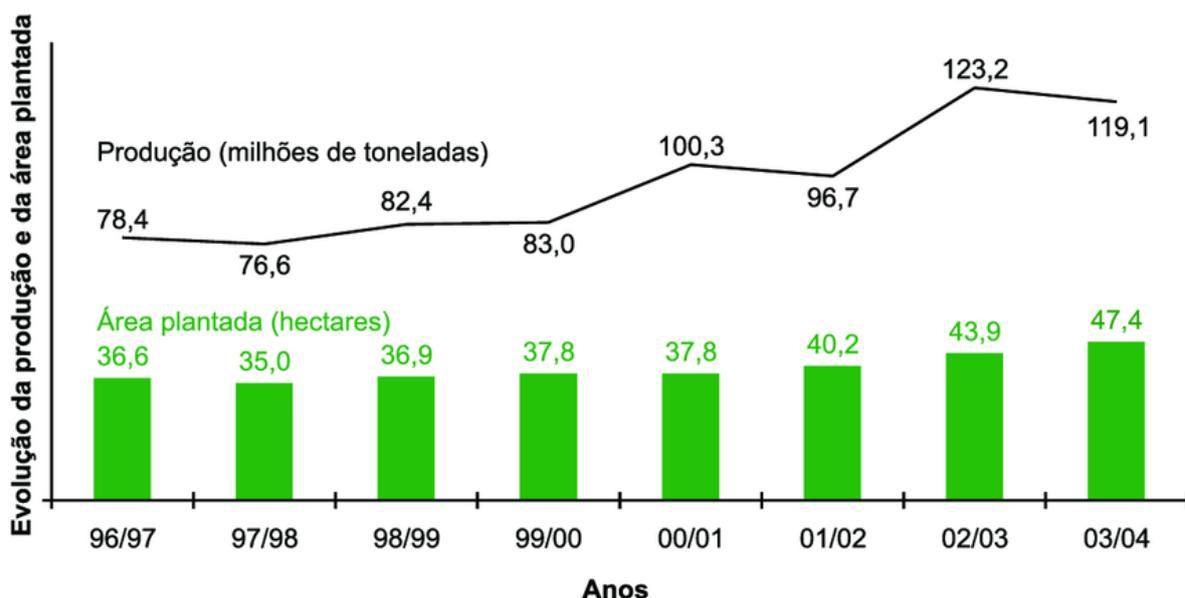


Figura 4. Evolução da produção de grãos e área de plantio no Brasil. Fonte: Conab, 2005a.

Capra (2006) ressalta que todos os seres vivos fazem parte de comunidades ecológicas interdependentes e que a ruptura dessas conexões tem levado à deterioração dos sistemas naturais. O ser humano, embora dotado de racionalidade, tem sido o principal agente das mudanças ambientais e sociais observadas nas últimas décadas. Weissheimer (2006) já alertava que, apenas

no último quarto do século XX, surgiram treze novas doenças infecciosas relacionadas a desequilíbrios ambientais, gerando um custo estimado em 550 bilhões de dólares para a saúde pública. Além disso, acentuaram-se as desigualdades socioeconômicas: enquanto os níveis médios da população enriqueceram em 10% em relação aos mais pobres, os mais ricos ampliaram em 23% sua vantagem em relação aos níveis médios.

Os sistemas agroindustriais enfrentam, hoje, desafios intensificados pelas mudanças climáticas. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2016; 2023) projeta que, até 2050, cerca de 84 milhões de crianças poderão sofrer com desnutrição, dependendo da intensidade dos efeitos climáticos. Como resposta, iniciativas globais têm buscado promover sistemas agroalimentares mais resilientes e inovadores, capazes de produzir mais com menos impacto ambiental (Beintema; Stads, 2011; Hlpe, 2020).

No Brasil, o modelo de agronegócio vigente continua promovendo a expansão da fronteira agrícola sobre ecossistemas frágeis, enquanto parcela significativa da população vive em situação de insegurança alimentar. De acordo com Souza (2021), essa contradição se torna ainda mais evidente ao se observar o desrespeito às normas ambientais e o desmatamento crescente de biomas como a Mata Atlântica, o Cerrado, o Pampa e o Pantanal (Figura 5).



Figura 5. Área de pastagem degradada no Bioma Mata Atlântica em processo inicial de recuperação com cochinchos e barraginhas. Fonte: Márcio Menon, 2024.

Dados recentes revelam que o Pantanal pode desaparecer nos próximos 45 anos caso continue sendo devastado à taxa atual de 2,3% ao ano (SOS Pantanal, 2023). No caso da Mata Atlântica, restam apenas 12,4% da cobertura florestal original, segundo o Atlas dos Remanescentes (SOS Mata Atlântica, 2023), enquanto o Cerrado já perdeu mais de 50% de sua vegetação nativa (INPE, 2022).

Outro exemplo dos paradoxos do progresso reside no avanço da biotecnologia. Embora a transgenia tenha contribuído para o aumento da produtividade agrícola, ela representa uma ameaça à agrobiodiversidade, especialmente às variedades crioulas e aos sistemas agrícolas tradicionais (Espinoso, 2016; Nascimento; Santos, 2021). Com 52,8 milhões de hectares cultivados com organismos geneticamente modificados (OGMs) em 2019, o Brasil ocupa o segundo lugar mundial em área plantada com transgênicos, atrás apenas dos Estados Unidos. Essa área representa cerca de 30,6% da área global cultivada com OGMs. Nesse ano, 74% da soja, 79% do algodão e 31% do milho cultivado no mundo eram geneticamente modificados (ISAAA, 2020; ATLAS DO AGRONEGÓCIO, 2021).

Apesar dessas críticas, as projeções para a agropecuária brasileira indicam continuidade do crescimento. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020), o Brasil deverá manter o protagonismo global na oferta de alimentos. Estima-se que, até a safra 2032/2033, a produção nacional de grãos atinja 389,3 milhões de toneladas, o que representa um acréscimo de 24,1% em relação à safra atual, estimada em 313,8 milhões de toneladas (CONAB, 2023). Esse crescimento equivale a uma taxa média anual de 2,4%.

Entretanto, o aumento da produção não tem garantido justiça social nem segurança alimentar. O paradoxo entre produtividade e fome revela um modelo que privilegia a exportação e o lucro, em detrimento da soberania alimentar e da conservação ambiental. Como enfatiza Altieri (2021), é urgente uma transição agroecológica baseada na equidade, na diversidade biológica e na justiça socioambiental (Figura 6).

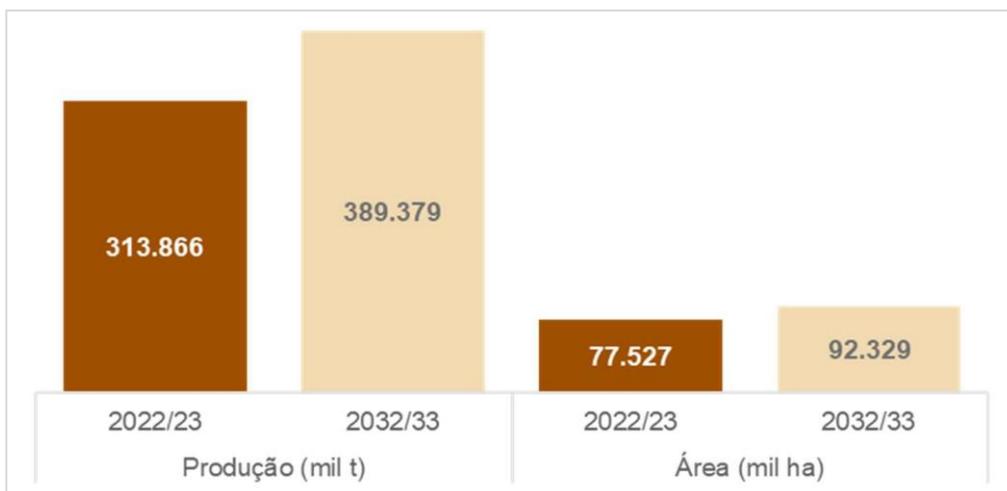


Figura 6. Aumento da produção e da área plantada. Fonte: CGPOP/DAEP/SPA/ MAPA e SUEST/SMAE/Embrapa.

3. Desafios e perspectivas para o Brasil em 2025: agricultura familiar, soberania alimentar e o modelo agroexportador

A modernização da agricultura brasileira tem provocado profundas transformações no cenário social, impactando diretamente a segurança alimentar das populações rurais. O modelo de agronegócio voltado à produção de *commodities* se revela excludente, priorizando culturas específicas e promovendo a integração da agricultura familiar às grandes cadeias mercantis. Nesse processo, observa-se o abandono dos cultivos de subsistência e uma crescente dependência do mercado, impulsionada por políticas de crédito rural que favorecem atividades em larga escala (Souza *et al.*, 2014c; Baiardi; Alencar, 2015; Souza, 2018; 2024).

Essa transição compromete a segurança alimentar, uma vez que os agricultores, ao se especializarem em poucas culturas com maior retorno econômico, deixam de produzir seus próprios alimentos. Tal fato também afeta as práticas alimentares da população em geral, promovendo uma homogeneização da dieta e a dependência de alimentos processados e ultraprocessados oriundos dos centros urbanos. Balem e Silveira (2005) chamaram esse fenômeno de “erosão cultural alimentar”, caracterizado pela perda progressiva de uma alimentação diversificada, culturalmente enraizada e nutricionalmente rica.

A agricultura familiar, que contribui com cerca de 38% da produção agropecuária nacional (Schneider; Cassol, 2013), vê-se pressionada a seguir padrões do agronegócio, muitas vezes economicamente inviáveis. Essa tendência compromete a soberania alimentar, aumentando a vulnerabilidade das comunidades rurais e aprofundando desigualdades sociais (Crespo *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2020).

De acordo com o Ministério da Agricultura, o Brasil apresenta índices de desenvolvimento agrícola acima da média mundial e lidera a produtividade na América Latina. No entanto, a concentração de renda permanece elevada, com cerca de 11% da população vivendo com menos de 2 dólares por dia (FAO, 2016; Silva *et al.*, 2020). Esse paradoxo revela uma realidade onde o crescimento econômico voltado à exportação convive com a precarização das condições de vida e trabalho da maioria da população rural.

As projeções para o Brasil em 2025 apontam para compromissos relevantes em direção ao desenvolvimento sustentável. Contudo, desafios estruturais como a desigualdade socioeconômica, o desmatamento e a insegurança alimentar persistem. Apesar disso, o país tem buscado alinhar-se aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), conforme preconizado pela Agenda 2030 da ONU, que ressalta a importância de sistemas alimentares mais equitativos, inclusivos e sustentáveis (FAO *et al.*, 2021; IPES-FOOD, 2022).

A consolidação do modelo agroexportador, sustentado pelo poder político das bancadas ruralistas nas últimas décadas (Caldart *et al.*, 2012), e intensificado nos governos recentes (Souza, 2021), resultou no enfraquecimento das políticas públicas voltadas à agricultura familiar e à soberania alimentar. A FAO (2020) alerta que, em todo o mundo, os mais pobres têm menor acesso à terra e à água, sendo frequentemente relegados a solos degradados e sujeitos à vulnerabilidade climática.

Nesse contexto, a luta por soberania alimentar deve ser compreendida como uma resistência ao avanço do agronegócio hegemônico. O alimento, enquanto direito humano e não mercadoria, deve ser produzido em condições que respeitem o meio ambiente, os trabalhadores e os modos de vida tradicionais. A soberania alimentar também compreende o direito ao acesso à

terra, às sementes crioulas, às águas e à biodiversidade (Altieri; Nicholls, 2020; Crespo *et al.*, 2020).

Infelizmente, o conceito de soberania alimentar tem sido progressivamente substituído pelo de segurança alimentar nos discursos oficiais, que privilegiam a quantidade de alimentos produzidos em detrimento da qualidade, do modo de produção e da justiça social. Essa lógica favorece o agronegócio convencional, que frequentemente se apresenta como solução para a fome global, mas ignora as questões relacionadas à sustentabilidade, às condições de trabalho e ao uso intensivo de agrotóxicos (Pinto; Franco, 2022).

Para enfrentar a insegurança alimentar de forma efetiva, é imprescindível o fortalecimento da agricultura familiar agroecológica, com políticas públicas que garantam acesso à terra, crédito, assistência técnica e mercados. Além disso, é fundamental promover a redistribuição de renda, a valorização da produção local e o consumo consciente, assegurando o direito à alimentação adequada às populações em situação de vulnerabilidade (Leite; Leite, 2022; Carrasco; Rosa, 2023; HLPE, 2023).

A agroecologia, além de promover a soberania alimentar, contribui para a conservação dos recursos naturais, a diversificação produtiva e a valorização dos saberes tradicionais. Isso fortalece a resiliência das comunidades diante das mudanças climáticas e das crises socioeconômicas. Nesse sentido, o apoio à agricultura familiar deve ir além do incentivo à produção, abrangendo também ações estruturais que envolvam a reforma agrária, a democratização do acesso aos bens comuns e a articulação de redes locais de produção e consumo.

4. Agroecologia como caminho para a sustentabilidade: integrando saberes e práticas no Brasil contemporâneo

A crescente preocupação com as questões ambientais no Brasil tem impulsionado estudos que interligam práticas agrícolas sustentáveis com justiça social, considerando as múltiplas formas de discriminação que afetam diversos segmentos da sociedade (Silva, 2015; Silva *et al.*, 2021b). A agroecologia emerge nesse contexto como uma abordagem que promove a integração dos saberes tradicionais dos agricultores com conhecimentos científicos, visando à

construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes (Caporal; Costabeber, 2010; Altieri *et al.*, 2015).

Segundo Capra (2006), a interdependência é um princípio fundamental da ecologia, onde todos os membros de uma comunidade estão conectados em uma rede de relações. Aplicando esse conceito à agroecologia, busca-se desenvolver práticas agrícolas que respeitem os ciclos naturais e promovam a biodiversidade, contribuindo para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

A adoção de práticas agroecológicas, como a preparação de biofertilizantes e o manejo integrado de pragas, tem demonstrado eficácia na melhoria da saúde do solo e no controle de pragas, reduzindo a dependência de insumos químicos (Padovan; Campolin, 2011; Souza *et al.*, 2020c). Além disso, a agricultura familiar, caracterizada pela diversidade de cultivos e pelo uso eficiente de recursos, desempenha um papel fundamental na produção de alimentos saudáveis e na conservação ambiental.

A restauração ecológica também ganha destaque como estratégia para a conservação da biodiversidade e adaptação às mudanças climáticas, exigindo abordagens integradas que considerem as dimensões ecológica, social, econômica e cultural (Aronson; Alexander, 2013; Fonseca *et al.*, 2021). Nesse sentido, a agroecologia não se limita a técnicas agrícolas, mas representa um movimento social que busca transformar as relações de produção e promover a justiça social no campo (Altieri; Nicholls, 2000 *apud* Hernández, 2011).

Recentemente, políticas públicas têm fortalecido a agroecologia no Brasil. O Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (Planapo), lançado em 2024, visa promover a produção de alimentos saudáveis e a preservação ambiental por meio de programas e ações que incentivam a transição agroecológica e a inclusão social. Além disso, o Plano Safra da Agricultura Familiar 2024-2025 destinou recursos significativos para fortalecer a agroecologia e a produção orgânica, beneficiando diretamente as famílias agricultoras.

A realização de eventos como o Agroecologia 2024, promovido pela Embrapa, evidencia o crescente interesse e investimento na agroecologia como

estratégia para enfrentar os desafios ambientais e sociais, promovendo a resiliência e sustentabilidade dos sistemas agroalimentares.

Em suma, a agroecologia se apresenta como uma alternativa viável para alcançar a sustentabilidade na agricultura brasileira, integrando conhecimentos tradicionais e científicos, promovendo a justiça social e contribuindo para a conservação ambiental. Os produtos biológicos têm tido um avanço e contribuído de forma significativa nos últimos anos (Figura 7).

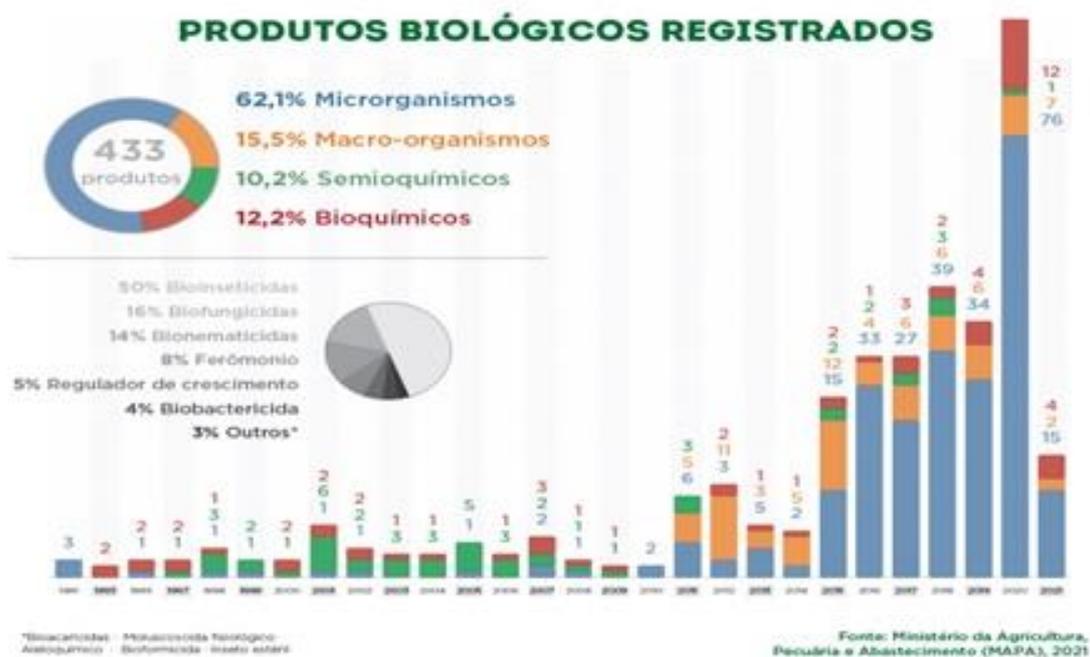


Figura 7. Produtos biológicos aprovados no Brasil desde 1991. Fonte: MAPA, 2021.

Entre os novos modelos de produção, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) representam importantes oportunidades para incluir o ser humano nos processos de restauração ecológica e, simultaneamente, incorporar árvores às paisagens agrícolas (Miccolis *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2021).

Além disso, a restauração dos agroecossistemas é uma estratégia essencial de adaptação às mudanças climáticas, uma vez que diversas práticas agroecológicas — como a diversificação de culturas, a preservação da diversidade genética local, o manejo orgânico do solo e a integração animal — contribuem para a redução da vulnerabilidade climática e para o aumento da

resiliência tanto dos sistemas produtivos quanto das comunidades que deles dependem (Souza, 2014; Altieri *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o desenvolvimento sustentável tem como foco central a melhoria da qualidade de vida da população, respeitando os limites ecológicos dos ecossistemas. Assim, ao mesmo tempo em que se beneficiam dos processos sustentáveis, as pessoas se tornam protagonistas da transformação, papel essencial para o alcance dos objetivos pretendidos (Assis, 2006).

Importante destacar que a sustentabilidade não deve ser pautada apenas por indicadores econômicos. Os aspectos socioculturais e ambientais também precisam ser considerados, incluindo a educação, a saúde, a qualidade de vida e o uso consciente dos recursos naturais, de forma que seja possível viver dignamente no campo sem comprometer as gerações futuras (Lima, 2014; Martins; Ribeiro, 2015; Carvalho *et al.*, 2021). Veiga (2001) e Souza (2015; 2018; 2021) reforçam essa perspectiva ao enfatizarem que esses elementos ampliam as possibilidades de escolha e desenvolvem as potencialidades humanas.

Esses autores também ressaltam a importância de priorizar a produção agrícola local, voltada para a alimentação da população, promovendo o acesso à terra, à água, às sementes, às matrizes de gado, ao crédito, ao incentivo à diversificação produtiva, à reforma agrária e à resistência aos organismos geneticamente modificados. A valorização da agricultura familiar, dos povos que vivem da pesca e das comunidades tradicionais é essencial nesse processo.

Reivindicar o direito dos agricultores familiares de produzir alimentos e o reconhecimento dos saberes populares é parte fundamental do direito ao desenvolvimento sustentável. Isso inclui o respeito à identidade cultural, o fortalecimento das práticas agroecológicas, o direito de escolha dos consumidores e a participação ativa da população nas decisões que envolvem os rumos da agricultura e do meio rural. Nesse sentido, torna-se imprescindível investir em educação, valorizar os aspectos culturais regionais e implantar políticas públicas voltadas ao desenvolvimento socioambiental, com foco na redução das desigualdades sociais e ecológicas.

Além dos impactos ambientais positivos gerados pelas práticas agroecológicas, a recuperação de áreas degradadas e o cumprimento do Código

Florestal são elementos centrais da agenda da sustentabilidade. A legislação de 2012 determina que todas as propriedades devem manter uma parcela de vegetação nativa denominada Reserva Legal (RL), cuja extensão varia de 20% a 80% da área total, conforme o bioma — sendo 20% na região Sudeste (Souza, 2015; 2018; Tundisi; Tundisi, 2018; Souza, 2021).

Para viabilizar o cumprimento dessas exigências, o Código Florestal estabeleceu dois instrumentos: o Cadastro Ambiental Rural (CAR), que registra a situação ambiental da propriedade, e o Programa de Regularização Ambiental (PRA), ao qual o produtor deve aderir caso sua propriedade esteja em desconformidade com a legislação. Além do PRA federal, existem programas equivalentes em 18 estados. Contudo, o alto custo de regularização e a impossibilidade de obter renda em áreas destinadas à RL ou às Áreas de Preservação Permanente (APPs) são entraves significativos à implantação plena da legislação (ATLAS..., 2021).

Para superar esse desafio, o Código prevê um mecanismo inovador: o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que entrou em vigor em 2021. Trata-se de um instrumento econômico que recompensa aqueles que prestam serviços ambientais, oferecendo uma alternativa mais eficaz do que políticas baseadas apenas em comando e controle. O PSA valoriza quem conserva e restaura, promovendo um novo modelo de incentivo à sustentabilidade (Daily; Ellison, 2012; Godecke; Hupffer; Chaves, 2014; Oliveira Junior; Santos; Maximo, 2014; Ferraro, 2018; Atlas..., 2021).

No que diz respeito ao saneamento ambiental, é relevante considerar que os dejetos animais são fontes de emissão de gás metano, um dos principais responsáveis pelo efeito estufa. O manejo adequado desses resíduos contribui diretamente para a mitigação do aquecimento global. Na perspectiva agroecológica, o reaproveitamento de resíduos é essencial para garantir a sustentabilidade socioeconômica das propriedades rurais.

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, por sua vez, estabelece como meta assegurar padrões sustentáveis de produção e consumo. Entre os objetivos definidos, está a redução substancial da geração de resíduos até 2030, por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização. A implementação de práticas como compostagem e biodigestão, portanto, está

plenamente alinhada com esses compromissos globais e com os princípios da sustentabilidade internacional (Amorim *et al.*, 2017; Sotto *et al.*, 2019).

5. Agroecologia no Espírito Santo: trajetória, avanços e experiências exitosas

A agroecologia ocupa aproximadamente 9.500 hectares do território capixaba, estando presentes em pelo menos 40 municípios. Mais de 400 produtores rurais já possuem certificação orgânica; cerca de 1.300 adotam práticas sem o uso de agrotóxicos, e outros 300 encontram-se em processo de transição do modelo convencional para o agroecológico (INCAPER, 2021).

A agricultura familiar tem papel central na produção de alimentos no Espírito Santo. Nesse contexto, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) enquanto prática agroecológica sustentável, vêm ganhando destaque por promoverem a diversificação de culturas e fontes de renda. Além disso, representam uma alternativa viável que atende às exigências ecológicas e ambientais, contribuindo significativamente para a conservação dos recursos naturais no estado.

A trajetória da agroecologia no Espírito Santo é marcada por marcos importantes, conforme sistematizado na Tabela 1, que apresenta os principais acontecimentos ao longo dos anos, incluindo as entidades envolvidas, as transformações promovidas, os fatores de influência, os vetores de mudança e os resultados obtidos (Rodrigues, 2017).

Tabela 1. Trajetória de construção da Agroecologia no Estado capixaba

Período	Principais transformações No território	Fatores de influência	Consequências para a região	Principais Vetores de mudança	Consequência das mudanças para o território
1980	Início da agricultura Alternativa na região Centro-Serrana do Estado;	Problemas de intoxicação causado pelo uso de agrotóxicos;	Coalisão Social e Formação do movimento social em prol de um modelo de agricultura	Articulação e parceria entre o Estado e o PTA	Apoio técnico para a produção de Agricultura Alternativa, impulsionado

	Implantação do Centro de Pesquisas em Produção Orgânica no âmbito do Estado	Apoio dos movimentos da igreja Católica e Luterana;	com o uso de tecnologias alternativas ao uso de agrotóxicos	pela parceria Estado-PTA
		Debates a nível nacional nos EBAA's;		Apoio na criação de Associações de produtores de alimentos sem agrotóxicos
		Implementação do PTA em terra capixaba		
1990	Criação da Associação de Programas em Tecnologias Alternativas – APTA	Captação de montantes vultuosos de recursos financeiros	Forte protagonismo da APTA no processo de ampliação da agroecologia	Extensão Rural e criação de diretoria específica pelo poder municipal na região centro-serrana;
		Aumento das ações do PTA no Estado e, conseqüentemente, o crescimento institucional – saída da FASE		Criação da Associação Chão Vivo

2000	Início das Feiras Livres na capital capixaba promovida pela articulação entre o MAC e o Estado;	Aumento na demanda por alimentos agroecológicos e orgânicos;	Processo de reconhecimento pelo Estado da produção orgânica na região Centro-Serrana;	Parceria com SEBRAE para certificação de produtores, impulsionada pelo Estado;	Consolidação do Instituto Chão Vivo enquanto órgão Certificador reconhecido pelo Estado;
	Criação da Gerência Estadual de Produção Orgânica e Agroecológica	Dinamização da produção	Consolidação institucional para estabilização dos mercados de produtos orgânicos no Estado	Mudança das ações da APTA para a região Norte	Diferenciação entre agricultores certificados (região centro-serrana) e não certificados (região norte)

Fonte: Rodrigues, 2017.

Entre os primeiros marcos dessa trajetória destaca-se a fundação da Associação de Programas em Tecnologias Alternativas (APTA), em 1990. A APTA foi uma das pioneiras na difusão da proposta agroecológica no estado, atuando com uma assessoria técnica abrangente e participativa. Seu trabalho abrangeu aspectos organizativos, produtivos, sociais, econômicos e ambientais, alcançando diversos grupos e associações rurais (Ferri 2023).

Inicialmente composta por professores, estudantes e agricultores, a associação passou a contar, ao longo do tempo, com uma maioria expressiva de agricultores oriundos de outras entidades já envolvidas com práticas agroecológicas, ou interessados em iniciar essa transição. Uma das primeiras experiências de assessoria desenvolvidas pela APTA foi com a Associação *Vero Sapore*, no município de Iconha–ES (*ibidem*).

De acordo com esse mesmo autor, a Associação de Agricultores Agroecológicos Orgânicos da Comunidade de Campinho – *Vero Sapore* – está

localizada no município de Iconha, na região central do Espírito Santo (20°47'38" S e 40°48'37" W). O município faz divisa ao norte com Alfredo Chaves e Anchieta, ao sul e oeste com Rio Novo do Sul, e a leste com Piúma, situando-se a cerca de 96 km da capital Vitória.

A produção agroecológica da associação teve início há mais de 25 anos, com um grupo pequeno e improvisado de agricultores, que comercializavam seus produtos nas feiras de Iconha e Piúma. Com o tempo, o grupo foi desativado, mas retomou suas atividades em um novo momento, agora fortalecido pela entrada de novos membros que passaram a adotar Sistemas Agroflorestais (SAFs) em suas propriedades. Esse recomeço contou com o apoio de entidades como a APTA, o INCAPER e a Secretaria Municipal de Agricultura de Iconha (Arantes, 2011).

Atualmente, de acordo com esse mesmo autor, a Vero Sapore estrutura-se com base no tripé da pluriatividade rural de base agrícola: agroecologia, agroindústria e agroturismo. Seus associados participam ativamente da gestão da associação e desenvolvem três frentes produtivas:

- ✓ **Agroecologia**, por meio da implantação de SAFs (Figuras 8 e 9), cultivando uma ampla diversidade de hortifrutigranjeiros;



Figuras 8 e 9. SAF andiroba, limão e cacau. Foto: Portal Embrapa, Divulgação Embrapa, 2021.

- ✓ **Agroindústria**, com o beneficiamento de parte da produção agrícola para elaboração de produtos como banana-passa, pó de café, bolos, biscoitos e doces variados;

- ✓ **Agroturismo**, com a recepção de visitantes, incluindo agricultores, professores, estudantes e demais interessados em conhecer a experiência agroecológica da Vero Sapore.

O sucesso da experiência agroecológica da Associação Vero Sapore está diretamente relacionado ao manejo baseado em princípios da agroecologia, com ênfase na diversificação produtiva e na constância da produção ao longo do ano. As propriedades dos associados apresentam elevada diversidade de cultivos e integração entre lavouras, quintais produtivos e agroflorestas, o que fortalece a resiliência ecológica e econômica das unidades produtivas.

A associação atua como um Organismo de Controle Social (OCS) vinculado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), instrumento fundamental para a comercialização de produtos orgânicos não certificados diretamente ao consumidor final. Por meio do OCS, os agricultores recebem a Declaração de Cadastro de Produtor Vinculado, o que permite a venda de produtos orgânicos em feiras livres e pontos de comercialização direta, como as feiras orgânicas de Vitória, Vila Velha e Iconha, além de viabilizar o acesso aos mercados institucionais, por meio de políticas públicas como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) (Arantes; Menezes; Peixoto, 2014).

Essa forma de comercialização fortalece não apenas a autonomia dos agricultores, mas também a confiança entre produtores e consumidores, além de reduzir custos e burocracias relacionadas à certificação convencional. Segundo Silva *et al.* (2019), os OCS representam uma estratégia eficaz para viabilizar a produção orgânica em pequena escala, especialmente entre agricultores familiares, promovendo relações de proximidade, participação e controle social.

Para que experiências como a da Vero Sapore se multipliquem, é fundamental o envolvimento de uma ampla rede de apoio institucional. Altieri e Toledo (2011) defendem que o avanço da agroecologia depende da construção de redes colaborativas entre instituições de pesquisa, universidades, sindicatos, movimentos sociais, organizações não governamentais e setores do poder

público, que fomentem a troca de saberes entre os diferentes atores envolvidos e valorizem os conhecimentos tradicionais e empíricos dos agricultores familiares.

Além disso, como destacam Petersen *et al.* (2013), o fortalecimento de mercados diferenciados para produtos agroecológicos – como circuitos curtos de comercialização, feiras locais e compras públicas – contribui para o reconhecimento do trabalho agroecológico, promovendo justiça social e valorização econômica para os agricultores.

Portanto, a trajetória da Associação Vero Sapore evidencia como práticas agroecológicas articuladas a estratégias participativas de certificação e à inserção em políticas públicas de fomento à agricultura familiar podem construir experiências sustentáveis e replicáveis em outros contextos territoriais.

6. Considerações

O Brasil, enquanto nação democrática com instituições organizadas e um arcabouço legal avançado — incluindo o Código Florestal, considerado uma das legislações ambientais mais abrangentes do mundo — enfrenta grandes desafios em sua trajetória rumo ao desenvolvimento sustentável. Apesar de sua longa tradição agrícola e da crescente conscientização da sociedade sobre questões ambientais, a realidade no campo ainda revela contradições profundas, marcadas por desigualdades socioeconômicas, degradação ambiental e perda da biodiversidade.

O modelo dominante do agronegócio, orientado pela lógica do capital e da monocultura em larga escala, tem aprofundado essas desigualdades, promovendo exclusão social, concentração fundiária e uso intensivo de recursos naturais. Esse modelo mostra-se insustentável do ponto de vista socioambiental e agrava as crises climáticas e ecológicas. Nesse cenário, a agroecologia surge como uma alternativa concreta e urgente, capaz de integrar produção agrícola, justiça social e conservação ambiental.

A agroecologia propõe um novo paradigma de produção e de vida no campo. Para além do manejo ecológico dos recursos naturais, trata-se de um movimento político, científico e cultural que promove práticas sustentáveis,

valorizando os saberes tradicionais dos agricultores e suas formas de organização social. A agroecologia não é apenas uma técnica agrícola, mas uma proposta de transformação social e ambiental com base em princípios de equidade, diversidade, autonomia e solidariedade.

O caminho para um desenvolvimento rural verdadeiramente sustentável precisa transitar pelas múltiplas dimensões da sustentabilidade: social, ambiental, econômica, cultural, política e ética. A integração dessas dimensões é essencial para a construção de uma agricultura que não apenas produza alimentos, mas que também promova a dignidade humana, a valorização da cultura local, a equidade de gênero, a preservação dos ecossistemas e o fortalecimento da cidadania no campo. A agroecologia é um campo em construção coletiva e participativa, exigindo o envolvimento de agricultores, técnicos, pesquisadores, educadores e gestores públicos.

Apesar dos avanços alcançados por políticas públicas como o PAA, o PNAE e os incentivos à agricultura familiar, muitos desafios persistem, especialmente em regiões mais vulneráveis como o semiárido nordestino. A escassez hídrica, as deficiências na assistência técnica, a dificuldade de acesso a mercados e a falta de apoio à gestão dos empreendimentos agroecológicos limitam o potencial produtivo e social desses territórios. A diversidade produtiva, nestes contextos, é um fator chave para garantir não apenas a geração de renda, mas a própria segurança alimentar e a permanência das famílias no campo.

Assim, fortalecer políticas públicas estruturantes, como os programas de captação, armazenamento e distribuição de água, bem como fomentar redes de comercialização solidária, certificação participativa e educação contextualizada, são ações indispensáveis. Nesse processo, a participação ativa dos agricultores e agricultoras é central para a construção de um modelo de desenvolvimento enraizado nos princípios da agroecologia e voltado para a autonomia dos sujeitos do campo.

Portanto, para superar os desafios da desigualdade social e da insustentabilidade ambiental, é fundamental romper com o modelo convencional de agricultura e avançar em direção a sistemas produtivos mais justos e resilientes. O grande desafio contemporâneo está em desenvolver formas de produção que aliem aumento de produtividade com conservação ambiental,

valorização do trabalho rural com respeito à natureza, e geração de renda com justiça social. A agroecologia se consolida, assim, como um projeto de futuro para o campo brasileiro, capaz de articular saberes, práticas e políticas em favor da vida, da biodiversidade e da equidade.

7. Referências

ALTIERI, M. A. *et al.* Agroecologia e os desafios da transição para sistemas alimentares sustentáveis. **Revista Agroecosistemas**, v. 14, n. 1, 2022.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable**. Série Textos Básicos para la Formación Ambiental. 1ª Edición. México: PNUMA, 2000, 250 p.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. **Agroecology: Science and Politics**. Earthscan, 2020.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; HENAO, A.; LANA, M. A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy for sustainable development**, v. 35, n. 3, p. 869-890, 2015.

ALTIERI, M. A.; TOLEDO, V. M. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. **Journal of Peasant Studies**, v. 38, n. 3, p. 587-612, 2011.

AMORIM, J. C.; FIA, R.; SADI JUNIOR, H. T.; RIBEIRO, A. G. C.; RIBEIRO, M. S. de R. Coleta seletiva: influência nos hábitos de descarte da população em Lavras, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v. 43, p. 49-63, 2017. DOI: 10.5327/Z2176-947820170097. Acesso em: 12 jul. 2021.

ARANTES, P. B. **Rede de circulação de sementes e propágulos na agricultura familiar e a conservação on farm no Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

ARANTES, P. B.; MENEZES, L. F. T.; PEIXOTO, A. L. Novas tendências do desenvolvimento rural: agricultura ecológica no Espírito Santo. **Natureza on line**, v. 12, n. 3, p. 137-152, 2014.

ASSIS, R. L. Desenvolvimento rural sustentável no Brasil: perspectivas a partir da integração de ações públicas e privadas com base na agroecologia. **Econ. Apl.**, v. 10, n. 1, p. 75-89, 2006.

ATLAS DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO - Uma jornada sustentável. Idealização & organização: LOHBAUER, C.; ALBUQUERQUE, A. **CropLife Brasil**: São Paulo, 2021. 79 p.

AUSTIN RATING. **Ranking das maiores economias globais em 2024**. Disponível em: <https://austin.com.br>, 2025.

BAIARDI, A.; ALENCAR, C. M. M. Agricultura familiar, seu interesse acadêmico, sua lógica constitutiva e sua resiliência no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 52, p. 45-62, 2015.

BALEM, T.; SILVEIRA, P. R. C. A Erosão Cultural Alimentar: processo de insegurança alimentar na agricultura familiar. In: Congresso da Associação Latino-Americana de Sociologia Rural. **Anais...** 2005. Disponível em: www.ufsm.br/desenvolvimentorural. Acesso em: 21 mar. 2021.

BARROS, R. P; HENRIQUES, R.; MENDONÇA, R. Desigualdade e pobreza no Brasil: retrato de uma estabilidade inaceitável. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 15, n. 42, 2000.

BARROS, R. T. V. **Manual de Saneamento e proteção ambiental para os municípios, v. 2**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 21 p.

BEINTEMA, N. M.; STADS, G. J. **Agricultural R&D in the new millennium: Progress for some, challenges for many**. Food Policy Report. IFPRI, Washington, DC. 2011.

BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. D. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), v. 32, p. 499-508, 1998.

BRASIL. **Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm Acesso em: 20 mar. 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 001, de 1986**. Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Disponível em: www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html. Acesso em: 20 mar. 2021.

CALDART, R. S.; PEREIRA, I. B.; ALENTEJANO, P.; FRIGOTTO, G. (Orgs.). **Dicionário da educação do campo**. Rio de Janeiro/São Paulo: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Expressão Popular. 2012.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia e extensão rural: contribuições para a promoção do desenvolvimento rural sustentável**. Brasília: MDA/SAF/DATER. 2007.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Educação em agroecologia: saberes e práticas no campo**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2021.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia enfoque científico e estratégico para apoiar o desenvolvimento rural sustentável** (Texto provisório para debate). Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, Junho de 2002. Disponível em: www.agroecologia.uema.br/publicacoes/AgroecolTexto.pdf. Acesso em: 21 mar. 2021.

CAPRA, F.; EICHEMBERG, F. R. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix, 2006.

CARRASCO, J. R.; ROSA, R. G. Soberania alimentar e agroecologia no contexto latino-americano: desafios e possibilidades. **Revista Campo-Território**, v. 18, n. 1, 2023.

CARVALHO, S. L.; SOUZA, M. N.; FERRARI, J. L.; MEIRA, A. C. H. Classificação e normas de segurança para a prática de educação ambiental na trilha interpretativa do arroz, Sítio Jaqueira Agroecologia - Alegre, ES. **Nucleus** (Ituverava), v. 18, p. 477-489, 2021. DOI: 10.3738/1982.2278.3894.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras**. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 20 mar. 2021.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Safras. **Safras 1990-1991 a 2004-2005** - séries históricas. Brasil - Por Produto. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 25 abr. 2025.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-dassafra/ItemList/category/908-graos-por-produtos> Acesso em: 25 maio 2025.

COSTA, V. A. Pagamento de serviços ambientais e o princípio constitucional do desenvolvimento sustentável. **Revista Brasileira de Direito Constitucional – RBDC**, v. 18, p. 13-21, 2011.

CRESPO, A. M.; SOUZA, M. N.; FAVARATO, L. F.; GUARÇONI, R. C.; ARAÚJO, J. B. S.; RANGEL, O. J. P.; SOUZA, J. L. de Survey of the floristic composition and the structure of spontaneous vegetation present at green corn cultivated in organic no-tillage system. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science** (IJAERS), v. 7, n. 11, p. 184-193, 2020.

DAILY, G. C.; ELLISON, K. Making Conservation Profitable. **Conservation in Practice**, v. 4, n. 2, p. 34-49, 2012.

EGAN, D.; HJERPE, E. E.; ABRAMS, J. Why people matter in ecological restoration. In: **Human dimensions of ecological restoration**. Island Press, Washington, DC, 2011. p. 1-19.

ESPINOSO, S. Q.; ROCHA, R. S.; OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, E. S.; SOUZA, M. N.; FREITAS, I. L. DE J. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas

em áreas de cultivo de café localizadas no sul do estado do Espírito Santo. **Revista da UNIVAP**, v. 22, p. 320-329, 2016.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Preço real dos alimentos** – índice FAO - FAO Food Price Index. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/>. Acesso em: 13 maio 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of Food and Agriculture 2021: Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses**. Rome: FAO, 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point**. Rome: FAO, 2021.

FAO *et al.* **The State of Food Security and Nutrition in the World 2022**. Rome: FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO, 2022.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2021**. FAO, 2021.

FERRI, A. G. **Análise da sustentabilidade, através do Método IDEA, de unidades produtivas da Associação de Agricultores Orgânicos Agroecológicos Vero Sapore, em Iconha, ES**. Dissertação (Mestrado em Agroecologia no Ifes campus de Alegre. 2023.

FERRANTE, L.; FELTRAN-BARBIERI, R.; FERREIRA, J. Agronegócio e desmatamento na Amazônia: limites de um modelo predatório. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 25, 2022.

FERRARO, P. Asymmetric information and contract design for payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 65, p. 810-821, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.07.029.

FMI. **Fundo Monetário Internacional. World Economic Outlook 2024**. Washington, DC. 2024.

FONSECA, R. A.; SOUZA, M. N.; MENDONÇA, P. P.; MOURA NETO, H.; MOREIRA, C. G.; PASCHOA, J. C. DA; HORSTH, L. C.; CRESPO, A. M. Aquicultura: Impactos ambientais negativos e a mitigação com práticas agroecológicas, p. 58-72. In: SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133p.

G1 Economia. (2025). **Dólar ultrapassa R\$ 6 e tem maior alta desde 2020**. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia>

GLEISER, M. *et al.* Agroecologia e os desafios do Antropoceno: transições para um futuro regenerativo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 1, 2022.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Ed. da Univ. Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2001.

GODECKE, M. V.; HUPFFER, H. M.; CHAVES, I. R. O futuro dos Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil a partir do novo Código Florestal. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 31, p. 31-42, 2014. UFRP, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287396298ofuturo_dos_pagamentos_por_servicos_ambientais. Acesso em: 23 jul. 2021.

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. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2018/index.html. Acesso em: 18 jun. 2021.

GRAZIANO DA SILVA, J. **O fim da fome: estratégias para garantir o direito humano à alimentação**. São Paulo: Editora Elefante, 2020.

HERNÁNDEZ, J. M. La crisis global y sus impactos em la vida rural. In: HERNÁNDEZ, J. M. (Coord.). **La agroecología em la construcción de alternativas hacia la sustentabilidad rural**. México: Siglo XXI editores, 2011. p. 17-50.

HLPE. High Level Panel of Experts. **Food security and nutrition: building a global narrative towards 2030**. Rome: CFS, 2023.

HLPE. High Level Panel of Experts. **Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all**. HLPE Report 17, 2023.

HUNDLEY, G. C.; NAVARRO R. D. Aquaponics: integration between aquaculture and hydroponics. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 52-61, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas Nacionais Trimestrais: resultados do PIB em 2024**. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 abr. 2025.

INCAPER. **Agricultura familiar**. Disponível em: www.incaper.es.gov.br/agroecologia. Acesso em: 23 abr. 2021.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Sixth Assessment Report – Synthesis Report**. Geneva: IPCC, 2023.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Desigualdades no Brasil: síntese de indicadores sociais**. Brasília: IPEA, 2023.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Desigualdades regionais e desenvolvimento**. Brasília: IPEA, 2024.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Inflação e insegurança alimentar no Brasil: tendências e desafios**. Nota Técnica, Brasília, 2023.

IPES-FOOD. **The politics of protein: examining claims about livestock, fish, 'alternative proteins' and sustainability**. Brussels, 2022.

JUNGES, J. R. **Bioética e meio ambiente no Brasil: uma abordagem hermenêutica**. Escola de formação fé, política e trabalho – Diocese de Caxias do Sul. 2008. Disponível em: www.pastoraldecaxias.org.br. Acesso em: 21 mar. 2021.

LEITE, M. L. dos S.; LEITE, J. F. Segurança alimentar e agricultura familiar: políticas públicas como estratégia de superação da fome. **Revista Katálysis**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 528-538, 2022.

LIMA, P. G. B. Strengthening livelihood flows on payment for environmental services through local lenses: evidences from the Bolsa Floresta programmer. **Journal of Sustainable Development Studies**, v. 7, n. 1, p. 52-83, 2014.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Coordenação Geral de Agrotóxico e Afins. **Manual de procedimentos para o registro de agrotóxicos**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>. Acesso em: 15 jun. 2021.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio. Brasil 2019/2020 a 2029/2030 Projeções de Longo Prazo**. Disponível em: file:///C:/Users/Cliente/Downloads/PROJE%C3%87%C3%93ES%20DO%20AGRONEG%C3%93CIO_2019-20%20a%202029-30.pdf. Acesso em: 15 fev. 2021.

MARTINS, D. L.; RIBEIRO, J. C. J. Pagamento por serviços ambientais: programa bolsa verde, política pública implementada no estado de Minas Gerais. **Revista do Mestrado em Direito-RVMD**, Brasília, v. 9, n. 2, p. 304-329, 2015.

MARTINS, M. C.; ROMARCO, M. L.; SOUZA, M. N. Uma análise da implantação da integração lavoura pecuária floresta (ILPF) na microrregião de Viçosa, Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural da UFV**, v. 4, p. 154-163, 2013.

MARTINS, M. C.; SOUZA, M. N. Uma análise das variáveis do desenvolvimento rural sustentável no uso da Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) em municípios da Zona da Mata de Minas Gerais. Multifuncionalidades sustentáveis no campo: **Agricultura, pecuária e florestas**, v. 5, p. 10-15, 2013. Disponível em: <http://www.simbras-as.com.br>.

MEADOWS, D. H. *et al.* **Limits to Growth: The 30-Year Update**. London: Earthscan, 2017.

MENDONÇA, M. L.; RIBEIRO, M. F. Soberania alimentar e resistências ao agronegócio: contribuições da agroecologia. **Revista NERA**, v. 25, n. 58, 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Educação ambiental**. Disponível em: www.mma.gov.br/educacao-ambiental/formacao-de-educadores/programa-de-educacao%20ambiental-e-agricultura-familiar-peaaf.

NASCIMENTO, S. A.; FERREIRA NETO, J. A.; SOUZA, M. N. Mercado de terras e intervenções públicas nas orientações das ocupações das áreas periurbanas. Por Extenso: **Boletim de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural**, v. 4, p. 187-195, 2013.

OLIVEIRA JUNIOR, C. J. F.; SANTOS, J. L.; MAXIMO, L. C. A agroecologia e os serviços ambientais. **Nature and Conservation**, Aquidabã, v. 7, n. 1, p. 19-32, 2014.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. ONU, 2015.

ONU. Organização das Nações Unidas - **UN General Assembly**, Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/1, Nova York, 2015. FAO. Disponível em: www.fao.org.br/edsaasa.asp. Acesso em: 22 mar. 2021.

Oxfam Brasil. **A distância que nos une: um retrato das desigualdades brasileiras**. São Paulo: Oxfam. 2023.

PADOVAN, M. P.; CAMPOLIN, A. I. Caminhos para mudanças de processos e práticas rumo à agroecologia. **Embrapa Pantanal-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2011.

PETERSEN, P. *et al.* Construção do conhecimento agroecológico: desafios e perspectivas para uma ciência comprometida com a sustentabilidade e a justiça social. **Revista Agriculturas: Experiências em Agroecologia**, v. 10, n. 4, p. 10-15, 2013.

PINTO, D. Q.; FRANCO, N. B. Agrotóxicos e soberania alimentar no Brasil: uma abordagem crítica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 2, 2022.

PNUD. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Relatório de Desenvolvimento Humano**. Nova York: PNUD. 2023.

REIS, B. E.; SOUZA, M. N.; GARCIA, C. P. O ensino da agroecologia como estratégia para o desenvolvimento rural sustentável: o caso do curso superior em agroecologia do campus rio Pomba do IF Sudeste de MG. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, p. 456-461, 2013.

ROCKSTRÖM, J. *et al.* A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472-475, 2009.

RODRIGUES, H. C. L. **Agroecologia no Território Norte do Espírito Santo: uma análise à luz do desenvolvimento territorial sustentável.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Sociologia Política, Florianópolis, 2017.

ROMEIRO, A. R. Sustentabilidade e política agrícola no Brasil: uma análise crítica. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 52, n. esp., 2021.

SCHNEIDER, S.; CASSOL, A. **A agricultura familiar no Brasil.** Serie Documentos de Trabajo. Santiago, Chile: Grupo de Trabajo: Desarrollo con Cohesión Territorial, 2013. Programa Cohesión Territorial para el Desarrollo. Rimisp. Disponível em: www.nutritime.com.br/wp-content/uploads/2019/Artigo-494-1.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

SCHWARTZMAN, S. Desigualdade e políticas públicas no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 101, p. 7-22, 2021.

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N.; RANGEL, O. J. P.; COSTA, L.; FORNAZIER, M. L.; LOUBACK, G. C.; NESPOLI, N. S.; PIROVANI, G. **Permacultura na agricultura.** In: Produção de café orgânico: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural. 1 ed. Meidrum Street, Mauricius: Novas Edições Acadêmicas, 2021b, v.1, p. 27-39.

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N.; RANGEL, O. J. P.; FORNAZIER, M. L.; LOUBACK, G. C.; PIROVANI, G.; SIQUEIRA, C. B. Sistemas agroflorestais (SAFs) e a cafeicultura. In: **Produção de café orgânico: práticas agroecológicas conservacionistas e novas tecnologias disponíveis ao produtor rural.** 1 ed. Meidrum Street, Mauricius: Novas Edições Acadêmicas, 2021, v.1, p. 40-50.

SILVA, J. M. V. O.; SOUZA, M. N.; SANTOS, D. M. Agroecologia e segurança hídrica no contexto da crise climática. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 2, 2022.

SILVA, M. G. Sustentabilidade socioambiental e a retórica neodesenvolvimentalista. **Serv. Soc. Soc.**, São Paulo, n. 123, p. 428-446, 2015.

SILVA, R. M.; SOUZA, A. F.; LIMA, J. C. Organismos Participativos de Avaliação da Conformidade Orgânica: desafios e perspectivas para a agricultura familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, n. 4, p. 79-88, 2019.

SOTTO, D. *et al.* Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. **Estud. Av.**, São Paulo, v. 33, n. 97, p. 61-80, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3397.004>. Acesso em: 18 jun. 2021.

SOTTO, D. S. *et al.* Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: desafios e perspectivas para a Agenda 2030. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 451-470, 2019.

SOUZA, I. I. de M.; ARAÚJO, E. da S.; JAEGGI, M. E. P. C.; SIMÃO, J. B. P.; ROUWS, J. R. C.; SOUZA, M. N. Effect of Afforestation of Arabica Coffee on the Physical and Sensorial Quality of the Bean. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 42, n. 7, p. 133-143, 2020c.

SOUZA, J. **A elite do atraso: da escravidão à Lava Jato**. Rio de Janeiro: Leya, 2018.

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>.

SOUZA, M. N. Análise da implantação da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos no município de Rio Pomba, MG. **Holos** (Natal. Online). , v.3, p.37 - 45, 2015b.

SOUZA, M. N. Avaliação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas em cenários de mudanças climáticas com o uso da modelagem: caso ribeirão Entre Riberios. **Revista Saneas**, v. 38, p. 24-28, 2014.

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, 2015a, 376 p.

SOUZA, M. N. O direito ao ambiental salubre e a política nacional de resíduos sólidos no município de Tocantins, MG. **Holos** (Natal. Online), v. 3, p. 23-32, 2014.

SOUZA, M. N. Recuperação ambiental ou recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos. In: SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021. p. 11-57.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SOUZA, M. A. A. S. Dynamic o systems and the modelling with the use STELLA. **ACADEMIC JOURNALS DATABASE**, v. 4, p. 23-37, 2014c. Disponível em: <http://www.journaldatabase.org>. Acesso em: 22 maio 2021.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Avaliação do comportamento hidrológico na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, afluente do rio Paracatu, em cenário de mudança climática com o uso do software STELLA. **Engenharia na agricultura**, v.1, p.32-47, 2013b.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Avaliação do comportamento hidrológico na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, afluente do rio Paracatu, em cenário de mudança climática com o uso do software STELLA. <http://dx.doi.org/10.13083/1414-3984.v18n04a08>. **RICA**, v.1, p.32-47, 2013.

SOUZA, M. N.; MATA, J. A. P.; MARTINS, M. C. Paisagismo urbano e recuperação de áreas degradadas. **ESPECIALIZE**, v.1, p. 1-16, 2014.

TUNDISI, J.; TUNDISI, T. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, v. 10, p. 67-76, 2018. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/en/fullpaper?bn01110042010+pt>. Acesso em: 23 jul. 2021.

UNITED NATIONS - Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019. **World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423)**. Disponível em: https://population.un.org/wpp/PublicationsPP2019_Highlights.pdf. Acesso em: 15 abr. 2021.

VARGAS, D. L. DE, BORBA, S. N., GODOY, C. M. T. In: Sustentabilidade, desenvolvimento e segurança alimentar. **Revista Eletrônica do Direito de UFSM**, v. 8, p. 172-197, 2013.

WEISSHEIMER, M. A. **Carta Maior**: observatório de políticas públicas ambientais da América Latina e Caribe, GNU/GPL. 2006. Disponível em: www.joomla.org. Acesso em: 21 mar. 2021.

WILLETT, W. *et al.* Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, v. 393, n. 10170, p. 447–492, 2019.

ZACARIAS, A. J.; SOUZA, M. N. Recuperação de área degradada de monocultura intensiva no estado do Espírito Santo. **Revista da UNIVAP**, v. 1, n. 87, p. 234-242, 2019. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2018/index.html. Acesso em: 13 maio 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um contexto marcado pela emergência climática, pela intensificação dos desastres socioambientais e pela crescente pressão sobre os territórios rurais e urbanos, a obra *Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas Vol. X* reafirma a urgência de se construir alternativas viáveis e sustentáveis que unam produção de alimentos saudáveis, justiça ambiental e respeito à natureza. O ponto de partida desta coletânea é a compreensão de que não há separação entre o cuidado com o meio ambiente e a luta por dignidade, autonomia e soberania dos povos do campo e da cidade.

A recuperação de áreas degradadas é aqui abordada não apenas como um conjunto de técnicas, mas como uma prática política, ética e pedagógica. Os capítulos deste livro — que percorrem desde fundamentos técnicos como a fitorremediação e o plantio direto até análises sociopolíticas da agroecologia, da agricultura familiar e de políticas públicas como o PSA Gestágua — demonstram que o enfrentamento à degradação ambiental exige uma abordagem multidisciplinar, crítica e profundamente comprometida com os territórios e suas gentes.

Ao valorizarmos experiências concretas, conhecimentos científicos e saberes populares, reconhecemos que a agroecologia é uma resposta concreta aos impactos das mudanças climáticas. Cada prática de transição agroecológica, cada horta escolar, cada agricultor que recusa o uso de agrotóxicos e escolhe caminhos regenerativos está contribuindo para a construção de sistemas resilientes, biodiversos e socialmente justos.

Neste sentido, o livro se encerra com o mesmo chamado com que se iniciou: é tempo de juntar forças. Diante da ameaça do chamado "PL da Devastação" e de outras iniciativas que atentam contra os bens comuns, é essencial reforçar que não é preciso destruir a natureza para gerar renda, produzir alimentos ou promover desenvolvimento. O verdadeiro progresso está na construção coletiva de caminhos sustentáveis que integrem práticas produtivas com a recuperação ecológica, a valorização da vida e o fortalecimento das comunidades.

Para enfrentar a insegurança alimentar de forma efetiva, é imprescindível o fortalecimento da agricultura familiar agroecológica, que representa não

apenas uma alternativa produtiva sustentável, mas também um modelo de desenvolvimento mais justo e inclusivo. A adoção de políticas públicas que assegurem o acesso à terra, ao crédito rural adaptado, à assistência técnica especializada e a canais de comercialização solidários é essencial para garantir a viabilidade e a expansão dessa forma de agricultura.

A agroecologia, além de promover a soberania alimentar, contribui para a conservação dos recursos naturais, a diversificação produtiva e a valorização dos saberes tradicionais. Isso fortalece a resiliência das comunidades diante das mudanças climáticas e das crises socioeconômicas. Nesse sentido, o apoio à agricultura familiar deve ir além do incentivo à produção, abrangendo também ações estruturais que envolvam a reforma agrária, a democratização do acesso aos bens comuns e a articulação de redes locais de produção e consumo.

Nesse processo, destaca-se a **recuperação de áreas degradadas**, especialmente em territórios ocupados por populações rurais e comunidades tradicionais. A recuperação ecológica, por meio de práticas como os Sistemas Agroflorestais (SAFs), a adubação verde e o manejo agroecológico do solo, contribui diretamente para o aumento da capacidade produtiva das terras, melhora a qualidade da água e da biodiversidade e gera benefícios ambientais duradouros. Ao tornar áreas improdutivas novamente férteis e sustentáveis, essas iniciativas ampliam as possibilidades de cultivo de alimentos saudáveis, fortalecem a segurança alimentar local e geram trabalho e renda.

Que esta obra inspire novas ações, articulações e pesquisas comprometidas com a recuperação ambiental, com a agroecologia e com um futuro onde a justiça climática não seja apenas uma promessa, mas uma realidade construída no presente.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, junho de 2025.



www.meridapublishers.com