

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
Organizadores

Inovações em pesquisas agrárias e ambientais

Volume IX



Pantanal Editora

2025

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
Organizadores

**Inovações em pesquisas agrárias e
ambientais**
Volume IX



Pantanal Editora

2025

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Dr. Jorge González Aguilera e Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Catalogação na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

158

Inovações em pesquisas agrárias e ambientais - Volume IX / Organização de Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera, Bruno Rodrigues de Oliveira. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2025.
118p. ; il.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-69-3

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756693>

1. Pesquisa agrícola. 2. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario (Organizador). II. Aguilera, Jorge González (Organizador). III. Oliveira, Bruno Rodrigues de (Organizador). IV. Título.

CDD 630.72

Índice para catálogo sistemático

I. Pesquisa agrícola



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

O volume IX do e-book Inovações em Pesquisas Agrárias e Ambientais reúne contribuições científicas que dialogam com alguns dos principais desafios contemporâneos enfrentados pelos setores agrícola, ambiental e socioeconômico no Brasil. Em um cenário marcado pela intensificação dos impactos climáticos, pela crescente demanda por sistemas produtivos sustentáveis e pela necessidade de aprimorar políticas públicas e modelos de gestão territorial, este volume apresenta estudos que ampliam o entendimento técnico-científico e oferecem caminhos inovadores para a prática profissional e para a formulação de soluções integradas.

Os assuntos contemplados são: sistemas agroflorestais como ferramenta de restauração em áreas impactadas por rompimento de barragem de mineração; avaliação dos índices vegetativos por sensoriamento remoto em perímetros irrigados; outorgas de direito de uso de recursos hídricos para pecuária; zoneamento de áreas para restauração ecológica visando metas climáticas; educação profissional na rede estadual paulista: expansão, desafios e o papel do itinerário técnico em agronegócio; mecanismos, estratégias e perspectivas sustentáveis para biorremediação e recuperação de elementos das terras raras; dinâmica toxicológica e repercussões clínico-produtivas nas intoxicações por plantas em bovinos de corte.

Assim, este volume consolida-se como uma coletânea multidisciplinar que integra ciência, tecnologia, educação e sustentabilidade, oferecendo ao leitor uma visão atualizada e robusta sobre temas essenciais para o desenvolvimento agrário e ambiental no Brasil. Espera-se que os capítulos aqui reunidos inspirem novas reflexões, fomentem pesquisas futuras e contribuam para práticas mais sustentáveis, resilientes e integradas nos diversos territórios brasileiros.

Boa leitura!

Os organizadores

Sumário

Apresentação	4
Capítulo 1	6
Sistemas Agroflorestais como ferramenta de restauração em áreas impactadas por rompimento de barragem de mineração	6
Capítulo 2	22
Avaliação dos índices vegetativos por sensoriamento remoto em perímetros irrigados no município de Juazeiro-BA	22
Capítulo 3	40
Outorgas de direito de uso de recursos hídricos para pecuária na Macrorregião Nordeste Matogrossense	40
Capítulo 4	50
Zoneamento de áreas para restauração ecológica visando metas climáticas	50
Capítulo 5	63
Educação profissional na rede estadual paulista: expansão, desafios e o papel do itinerário técnico em agronegócio	63
Capítulo 6	71
Mecanismos, Estratégias e Perspectivas Sustentáveis para Biorremediação e Recuperação de Elementos das Terras Raras: Uma Revisão	71
Capítulo 7	92
Dinâmica toxicológica e repercussões clínico-produtivas nas intoxicações por plantas em bovinos de corte	92
Capítulo 8	102
Educação ambiental na escola: ações com discentes do ensino fundamental para conservação de uma área costeira no município de Tutóia-MA	102
Índice Remissivo	115
Sobre os organizadores	116

Sistemas Agroflorestais como ferramenta de restauração em áreas impactadas por rompimento de barragem de mineração

Recebido em: 07/08/2025

Aceito em: 25/08/2025

 10.46420/9786585756693cap1

Lucas Antunes da Silva 

Rafael Lima De Carvalho 

Silvia Correa Santos 

Cleberton Correia Santos 

Elias Silva De Medeiros 

INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causados por rompimentos de barragens de mineração no mundo são casos bastante conhecidos. No entanto, o desastre da barragem de fundão é considerado o maior evento de perturbação ambiental da história do Brasil e por muitos até do mundo (CPRM, 2015, Carmo et al., 2017, Omachi et. al, 2018). Os passivos ambientais desse desastre somam mais de 860 ha de Áreas de Preservação Permanente, associadas a 660 km de cursos d'água da bacia do Rio Doce, afetados pela inundação dos rejeitos de minério (Carmo et al., 2017; SOS Mata Atlântica, 2017).

A condição ambiental histórica da Bacia do Rio Doce já tratava, mesmo antes ao acidente ambiental, de áreas antropizadas com estágio de degradação, causadas principalmente pelo uso exploratório do solo e desmatamento (SOS Mata Atlântica, 2017). Além disso, a bacia do Rio Doce está inserida na Mata Atlântica, bioma brasileiro considerado um dos hotspots mundiais para a conservação da biodiversidade (Omachi et. al, 2018).

Dado o contexto de degradação e a proporção dos impactos causados pelo acidente ambiental da barragem de Fundão, muitas foram as iniciativas e esforços com a finalidade de recuperação ambiental, social e econômica das áreas e regiões atingidas. No âmbito ambiental, existem inúmeras técnicas de recuperação e restauração. Essas técnicas devem estar relacionadas as características ambientais do local como o solo, interação entre fauna e flora, a diversidade local e o tipo e intensidade do distúrbio sofrido (Martins, 2018).

As técnicas de restauração ecológica podem ser passivas ou ativas (Martins, Silva & Barros, 2020). Dentre essas, as de dinâmica ativa utilizam o plantio de mudas como forma de induzir uma recuperação inicial rápida. Essa técnica busca alternativas de cobertura do solo e crescimento de espécies arbóreas que posteriormente serão a base florestal desse sistema (Martins, 2018; Philipson et al., 2020; Martins, Silva & Barros, 2020).

Uma das técnicas de restauração ativas mais utilizadas são os Sistemas Agroflorestais (SAF's). Essa técnica é prevista pelo Código Florestal Brasileiro como uma possibilidade de intervenção com objetivo de restauração florestal ou recomposição de áreas degradadas. Os sistemas agroflorestais são considerados uma alternativa viável para a agricultura sustentável e a restauração florestal, pois aliam a produção agrícola com a conservação ambiental. (Van Noordwijk et al., 2019; Brancalion et al., 2012).

O componente obrigatório dos SAF's são as espécies arbóreas, que desempenham papel fundamental para o equilíbrio do sistema e a qualidade do solo. Estudos têm demonstrado que essas espécies podem influenciar positivamente nos atributos físicos e químicos do solo, aumentando a biodiversidade e o balanço energético do sistema. Embora práticas de plantio direto ou mínimo possam trazer benefícios relacionados aos nutrientes do solo e ao sequestro de carbono, a presença de árvores em sistemas agroflorestais oferece vantagens adicionais (Achmad et al., 2022).

Por formarem um ecossistema complexo e dinâmico, ainda existe a preocupação em avaliar as especificidades de cada local para garantir uma eficiente restauração ambiental, principalmente em áreas com danos causados por barragens de rejeitos (Martins, Batista & Lopes, 2022). De modo que, um dos desafios atuais em áreas degradadas é a avaliação simplificada e confiável da qualidade do solo. Essa avaliação envolve a quantificação de atributos físicos, químicos e biológicos, permitindo o monitoramento de mudanças a médio e longo prazo da qualidade do solo (Marchini et al., 2015). Outro grande desafio é compreender como a comunidade vegetal implantada e a regeneração natural da área se desenvolvem nos diferentes contextos de degradação e nas diferentes técnicas de restauração. Compreender a infinidade de interações que ocorrem entre esses sistemas é fundamental para a consolidação de projetos de restauração adaptados aos diferentes cenários de degradação existentes.

Para um projeto de restauração bem-sucedido, é essencial escolher as espécies arbóreas adequadas às condições do local. As características dendrométricas, como a taxa de crescimento, a altura, o volume, a área basal, a tolerância à sombra etc., ajudam a determinar quais espécies são mais apropriadas para alcançar os objetivos de restauração em determinada área. Além disso, o conhecimento das características dendrométricas são fundamentais para planejar o arranjo espacial, que influencia diretamente a competição, o desenvolvimento do dossel e a capacidade do ecossistema restaurado de desempenhar suas funções ecológicas (Brancalion et al., 2012). Nosso protocolo de seleção de espécies baseado em características funcionais selecionou com sucesso espécies arbóreas nativas com traços muito semelhantes às espécies-alvo, e essas espécies se mostraram adequadas para a restauração florestal de longo prazo em uma área tropical degradada." (Xu et al., 2024).

Dessa forma, é incontestável a importância ambiental dos SAF's como promotor da recuperar áreas degradadas aliado a produção agrícola, principalmente quando se considera a urgência de adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis (Foong et al., 2022). Assim, o estudo objetivou caracterizar os atributos físico-químicos do solo e dendrométricos do componente arbóreos de SAFs na mesorregião do Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais, como forma de subsidiar e promover o uso de sistemas

agroflorestais como instrumentos de restauração florestal, sobretudo em áreas impactadas por barragens de mineração.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com quatro Sistemas Agroflorestais implantados em Jampruca - Minas Gerais (Latitude: 18° 27' 37" Sul, Longitude: 41° 48' 14" Oeste), município localizado na mesorregião Vale do Rio Doce, leste do Estado de Minas Gerais – Brasil.

O clima da microrregião é do tipo Aw na escala de Köppen, sendo caracterizado como tropical com estação seca, com invernos secos e amenos e verões chuvosos com altas temperaturas (Mar, 2016). A temperatura média da região varia entre 19° C e 24° C. A temperatura máxima ocorrida no período de realização do experimento foi 38,5° C no mês de setembro de 2021, e a mínima foi 9,4° C, registrada em maio de 2022 (Inmet, 2022). A estação chuvosa na região é bem caracterizada, abrangendo o período de outubro a março, correspondendo a 75% do total anual precipitado (Signorelli, 1997), sendo a precipitação média anual de 1.116 milímetros (Mar, 2016).

Os principais tipos de solo presentes na região são o Argissolo vermelho e o Argissolo vermelho-amarelo (Embrapa Solos, 2013; Santos et al., 2018). Caracterizados como distróficos, variando de profundo a pouco profundo, bem drenados e medianamente drenados, podendo apresentar altos teores de cascalho. O relevo predominante na região é ondulado e fortemente ondulado, com cotas que oscilam entre 150 e 350 metros e picos que chegam a 450 metros de altitude em relação ao nível do mar (Signorelli, 1997).

O bioma do local é Mata Atlântica e a fitofisionomia que compõe predominantemente a região é a Floresta Estacional Semidecidual (INDE, 2004). Atualmente a região se encontra com alto índice de degradação florestal, áreas de monodominância de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl., alto índice de processo erosivo e presença de solo exposto.

Foram analisados quatro Sistemas Agroflorestais (SAF01, SAF02, SAF03 e SAF04) e um fragmento florestal remanescente localizado próximo aos SAF's, denominado Fragmento Florestal de Referência (FFR). Os SAF's foram implantados entre novembro de 2019 a março de 2020. São arranjos voltados a restauração florestal de áreas impactadas indiretamente pelo rompimento da Barragem do Fundão. Os locais de implantação são caracterizados como áreas de preservação permanente (mata ciliar).

Os Sistemas Agroflorestais e o Fragmento Florestal de Referência estudados fazem parte do Projeto de Assentamento Ulisses Oliveira (PUO). O PUO foi criado em maio de 2005 como parte do programa de Reforma Agrária instituído pelo governo brasileiro, através de portaria do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). É constituído por 43 unidades agrícolas familiares e uma área de proteção ambiental, destinada a Reserva Legal.

Para a implantação todas as áreas foram cercadas previamente. Após o cercamento foi realizado o preparo de solo, com roçada seguido da abertura de berços. Os berços possuíam 40 cm x 40 cm x 40

cm (largura, comprimento e profundidade) e foram abertos com auxílio de perfurador de solo. Foi aplicado 200 gramas de calcário calcítico por berço, 30 dias antes da implantação. A adubação de base foi 300 gramas de NPK 05-30-20. A adubação de cobertura (2º mês pós plantio) foi realizada com adubo de liberação lenta FTE-XX na dose de 150 gramas por berço.

As mudas de espécies arbóreas e frutíferas implantadas possuíam, em média, 60 centímetros de altura. Foi introduzido, via sementes, espécies de adubação verde nas entrelinhas. As espécies utilizadas foram *Cajanus cajan* (L.) Huth, *Crotalaria juncea* L., *Crotalaria spectabilis* Roth. e *Canavalia ensiformis* DC.

A seguir são apresentadas as características de cada Sistema Agroflorestal e do Fragmento Florestal de Referência estudado:

SAF 01: Implantação em dezembro de 2019, área de 0,60 hectares atravessada pelo Córrego Boleira (Latitude 18°26'26.05" Sul, Longitude 41°41'26.33" Oeste). Vegetação composta por árvores adultas e plantas de sub-bosque típicas de mata ciliar. Culturas anuais e perenes incluem bananeiras, café, açafrão, feijão, milho e amendoim. Solo próximo ao córrego possui características de areia e silte. No período chuvoso, parte da área é temporariamente alagada. Manejo agrícola é pouco intensivo, realizado em algumas entrelinhas.

SAF 02: Implantação concluída em janeiro de 2020, área de 0,62 hectares às margens do Córrego Boleira (Latitude 18°26'21.14" Sul, Longitude 41°41'32.49" Oeste). Vegetação de mata ciliar com alta presença de gramíneas invasoras do gênero *Panicum*. Ausência de manejo pós-implantação e baixa ocupação arbórea favorecem a competição das gramíneas invasoras. Não há atividades de manutenção ou cultivos nas entrelinhas, sendo o sistema com menor intensidade de manejo.

SAF 03: Implantação em janeiro de 2020, área de 0,69 hectares às margens do Córrego Boleira (Latitude 18°26'14.19" Sul, Longitude 41°41'39.22" Oeste). Vegetação nativa típica de mata ciliar. Cultivos de hortifrutigranjeiros para comercialização externa. Presença significativa de árvores adultas antes da implantação. Manejo agrícola constante com culturas como bananeiras, milho e hortaliças reduz a competição com gramíneas invasoras. Parte da área é alagada no período chuvoso.

SAF 04: Implantação concluída em janeiro de 2020, área de 1,82 hectares com presença de área brejosa e lago artificial (Latitude 18°25'35.04" Sul, Longitude 41°41'54.26" Oeste). Maior intensidade de manejo entre os SAFs, com cultivos anuais para autoconsumo familiar. Solo com características arenosas e presença moderada de gramíneas invasoras. Menor número de árvores adultas remanescentes, historicamente utilizada para lavoura familiar.

Fragmento Florestal de Referência (FFR): Área de Reserva Legal do assentamento selecionada como referência, caracterizada como Estágio Inicial de Regeneração (Latitude 18°24'19.20" Sul, Longitude 41°41'50.58" Oeste). Localizada próxima aos sistemas estudados, composta principalmente por floresta contínua.

De acordo com a Resolução da CONAMA nº 392/2007 as principais características ecológicas que caracterizam o estágio inicial são: ausência de estratificação definida; vegetação formando um único

estrato (emaranhado) com altura de até 3 (três) metros; espécies lenhosas com distribuição diamétrica de pequena amplitude com – DAP(diâmetro da altura do peito) médio de até 8 centímetros; espécies pioneiras abundantes; epífitas, se existentes, são representadas principalmente por líquens e briófitas com baixa diversidade; serapilheira, quando existente, forma uma fina camada, pouco decomposta, contínua ou não; trepadeiras, se presentes, geralmente herbáceas; presença de espécies indicadoras: Arbóreas - *Myracrodruon urundeuva*, *Anadenanthera colubrina*, *Piptadenia* spp., *Acacia* spp., *Aspidosperma pyrifolium*, *Guazuma umifolia*, *Combretum* spp. Arbustivas - *Celtis iguanaea*, *Aloysia virgata*, *Mimosa* spp., *Calliandra* spp., *Hibiscus* spp., *Pavonia* spp., *Waltheria* spp., *Sida* spp., *Croton* spp., *Helicteres* spp. Cipós: *Banisteriopsis* spp., *Pithecoctenium* spp., *Combretum* spp., *Merremia* spp., *Mansoa* spp., *Bauhinia* spp. e *Cissus* spp.

Como a Reserva Legal do Projeto de Assentamento Ulisses Oliveira possui área superior a 340 hectares, foi necessário realizar uma delimitação da área a ser avaliada. A delimitação foi realizada através da análise visual de imagens de satélite (software Qgis) e avaliação dos dados florísticos e fitossociológicos cedidos pelo Programa Popular de Agroecologia na Bacia do Rio Doce. Foi selecionada uma área contínua, formada de fragmento florestal, com cerca de 5 hectares para alocação das Unidades Amostrais.

Para coleta dos dados, foi realizado um transecto a partir do caminhar livre no sentido de maior comprimento de cada sistema. Foram distribuídos 6 pontos de coleta de dados. Em cada ponto de coleta foi instalada uma Unidade Amstral (UA) de 20 x 30 metros (600 metros quadrados), para amostragem dos parâmetros analisados no estudo, de acordo com a metodologia adaptada de Suarez et al. (2021).

Para avaliação dos atributos físicos e químicos do solo, em cada unidade amostral foram coletadas 10 sub amostras simples, na profundidade de 0-20 centímetros, com auxílio de trado do tipo holandês. Foram analisados os macronutrientes Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Fósforo (P), os atributos Acidez Potencial (H+Al), Matéria Orgânica (MO) e Potencial Hidrogeniônico (pH), e os micronutrientes Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). Também foi analisada a granulometria através da determinação dos teores de areia, silte e argila.

A análise dos atributos químicos e físico do solo foram preparadas e determinadas seguindo as metodologias descritas por EMBRAPA (2011). O pH foi determinado em água, CaCl₂ e SMP em solução solo:líquido a 1:2,5. Os teores de Ca, Mg e H+Al foram determinadas através da solução de KCl a 1 mol L⁻¹. Os teores de P, K e micros (Fe, Cu, Zn e Mg) foram determinados em solução Mehlich I. A MO foi obtida pelo método de oxidação com dicromato de potássio em meio ácido (Yeomans & Bremner, 1988). A análise granulométrica foi determinada pelo método da dispersão total.

Análises estatísticas

Para a análise estatística dos dados dendrométricos, inicialmente, uma análise estatística descritiva foi realizada para examinar a distribuição e variabilidade dos dados, seguindo as recomendações de Hair et al. (2019). Posteriormente, o método de correlação de Pearson foi empregado para construir correlogramas, conforme orientado por Mukaka (2012), a fim de investigar possíveis relações lineares entre as variáveis. Testes de hipótese foram então conduzidos para avaliar a significância estatística das correlações identificadas, alinhando-se com as diretrizes de Field (2013).

Para uma análise mais abrangente, a Análise de Componentes Principais (ACP) foi utilizada, uma técnica multivariada reconhecida na literatura (Jolliffe, 2002). O pacote factoextra para o software R foi empregado para visualizar graficamente as relações entre as variáveis por meio do Biplot, conforme sugerido por Kassambara e Mundt (2020).

Além disso, a análise de agrupamento (cluster) foi realizada por meio de dendrogramas, seguindo as recomendações de Everitt et al. (2011). A apresentação dos resultados em gráficos de heatmap permitiu a identificação de padrões de agrupamento tanto das variáveis quanto dos tratamentos, conforme sugerido por Warnes et al. (2022).

Para avaliar o efeito do tratamento em cada variável, o teste F da análise de variância foi utilizado, seguindo as práticas estatísticas convencionais (Montgomery, Peck & Vining, 2012). As comparações múltiplas entre os níveis do tratamento foram realizadas utilizando o teste Tukey, quando apropriado. Todos os testes foram avaliados ao nível de significância de 5%.

A análise estatística dos dados do solo seguiu procedimentos semelhantes, com adaptações necessárias para as características específicas dos dados. Foram aplicadas as mesmas técnicas estatísticas, seguindo as referências do software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios obtidos por sistema para cálcio, magnésio, potássio, acidez potencial, fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, cobre, ferro, manganês, zinco, capacidade de troca catiônica, soma de bases e saturação por bases referentes a profundidade de 0 - 20 centímetros são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos referente a profundidade de 0-20 cm em Sistemas Agroflorestais (SAF01, SAF02, SAF03 e SAF04) e Fragmento Florestal de Referência (FFR).

Descrição	Ca*	Mg*	K*	H+Al*	CTC*	SB*	V*
	cmolc dm ⁻³						%
FFR	2,57bc	0,88bc	0,03b	2,38a	5,85bc	3,48bc	59,40c
SAF01	3,53ab	1,43b	0,04b	2,00ab	7,01b	5,01b	71,54b
SAF02	4,75a	2,57a	0,11a	1,69b	9,12a	7,43a	81,09a
SAF03	3,06bc	1,14b	0,06b	1,38b	5,64bc	4,26b	75,62ab
SAF04	1,97c	0,51c	0,02b	1,47b	3,98c	2,51c	61,61c

Descrição	pH*	MOS*	P ^{ns}	Cu*	Mn*	Fe*	Zn*
	H ₂ O	%	mg dm ⁻³				
FFR	5,60b	2,07ab	4,71	0,86b	58,34c	106,84b	1,94b
SAF01	5,88b	2,06ab	16,73	0,84b	51,98c	116,56b	1,66b
SAF02	6,46a	2,72a	48,99	2,18a	118,43a	274,73b	7,46a
SAF03	6,32a	1,29b	36,96	1,02b	48,06c	168,28b	2,99b
SAF04	5,85b	1,26b	39,85	1,72a	89,84b	566,12a	1,79b

*Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores seguidos de letras minúsculas e valores sem letra, comparam a diferença estatística do atributo entre os sistemas ou indicam ausência de diferença estatística, respectivamente. Ca: cálcio, Mg: magnésio, K: potássio, H+Al: Acidez potencial, CTC: capacidade de troca catiônica, SB: soma de bases, V: saturação por bases, pH: potencial hidrogeniônico, MOS: matéria orgânica do solo, P: fósforo, Cu: Cobre, Mn: Manganês, Fe: Ferro e Zn: Zinco.

O sistema SAF02 apresentou os maiores teores de cálcio (4,75 cmolc dm⁻³), magnésio (2,57 cmolc dm⁻³) e potássio (0,11 cmolc dm⁻³), com correlações positivas entre esses macronutrientes, pH, CTC, SB e V% (Figura 1). Esses atributos também foram estatisticamente superiores nesse sistema, refletindo maior acúmulo de bases trocáveis. Freitas et al. (2018a) destacam que sistemas com maior diversidade de espécies e adição de resíduos lenhosos favorecem o acúmulo de Ca e Mg no solo.

A MOS foi superior nos sistemas FFR, SAF01 e SAF02, classificados como médios (< 3%), enquanto SAF03 e SAF04 apresentaram baixos teores (< 1,5%). A MOS apresentou alta correlação com CTC entre 0,82 a 0,91, indicando sua influência direta na fertilidade do solo. Conforme Marchini et al. (2015), a MOS contribui para a melhoria da estrutura física, retenção de água e atributos químicos e biológicos do solo. Nos SAFs, a decomposição mais lenta da MOS, devido ao equilíbrio entre cultivo e aporte orgânico, contribui para sua preservação (Achmad et al., 2022).

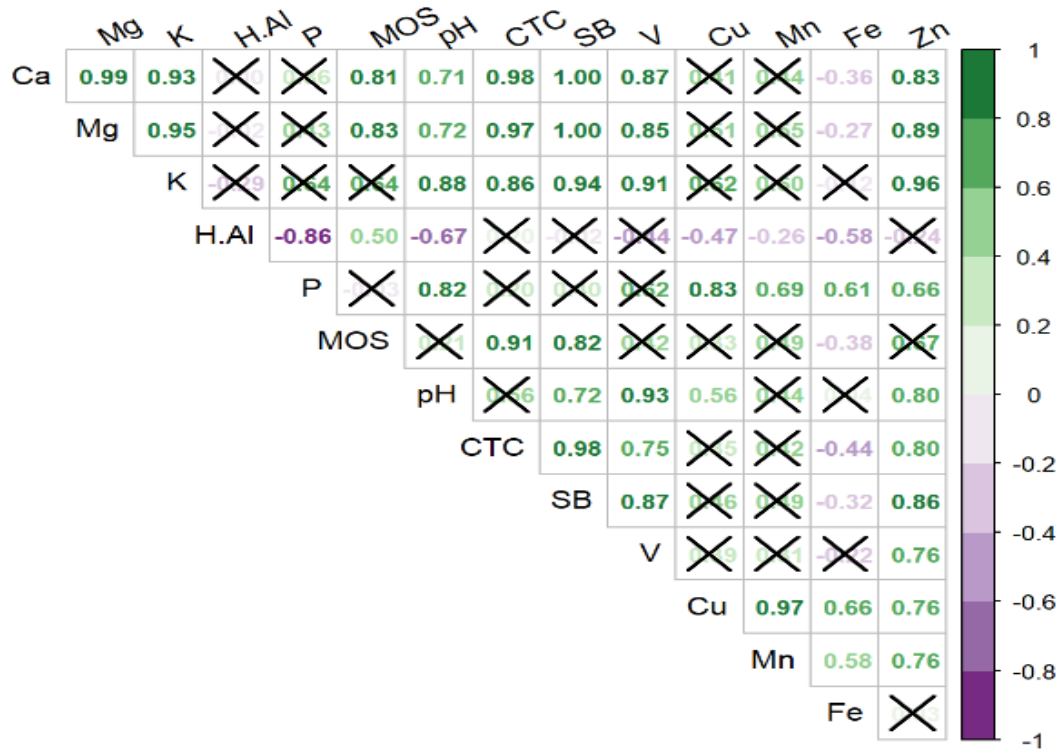


Figura 1. Matriz de correlação de Pearson entre atributos químicos do solo nos diferentes sistemas de uso (Sistemas Agroflorestais – SAFs – e cultivo convencional). As siglas correspondem a: Ca (cálcio), Mg (magnésio), K (potássio), H+Al (acidez potencial), P (fósforo), MOS (matéria orgânica do solo), pH (potencial hidrogeniônico), CTC (capacidade de troca catiônica), SB (soma de bases), V (saturação por bases), Cu (cobre), Mn (manganês), Fe (ferro) e Zn (zinco). O gradiente de cores indica a força e direção da correlação (de -1 a 1), sendo destacadas em verde as correlações positivas significativas e em roxo as negativas. X indica valores de menor magnitude.

O fósforo variou de 4,71 a 48,99 mg/dm³, com teores baixos (< 20 mg dm⁻³) nos sistemas FFR e SAF01 e altos (> 30 mg dm⁻³) nos demais, segundo a 5ª Aproximação. Apesar da variação absoluta, não houve diferença estatística, possivelmente pela alta variabilidade entre parcelas. A correlação negativa com H+Al ($r = -0,86$) sugere limitação da disponibilidade de P em solos mais ácidos. O fósforo, essencial para processos como fotossíntese, transferência de energia e desenvolvimento radicular, tem sua disponibilidade diretamente afetada pelo pH do solo (Khangura, Sharma, & Singh, 2023).

O pH foi estatisticamente superior nos sistemas SAF02 e SAF03 (>6), sendo classificados como altos (> 5,9), enquanto os demais apresentaram pH médio teor demais valores. O aumento do pH nesses sistemas pode ser atribuído ao manejo com culturas anuais e adubação verde nas entrelinhas, mesmo com dose de calcário semelhante entre os sistemas.

A acidez potencial (H+Al) foi maior no FFR (2,38 cmolc dm⁻³) e SAF01 (2,0 cmolc dm⁻³), embora classificada como baixa em todos os sistemas. A ausência de correlação com as bases trocáveis (Figura 1) confirma que a acidez potencial não atuou como fator limitante.

Quanto aos micronutrientes, o SAF02 apresentou os maiores teores de Cu (2,18 cmolc dm⁻³), Mn (118,43 cmolc dm⁻³) e Zn (7,46 cmolc dm⁻³), enquanto o SAF04 apresentou o maior teor de Fe (566,12

cmolc dm^{-3}). No entanto, Cu e Mn não apresentaram correlação significativa (Figura 1) com as bases trocáveis, reforçando sua dinâmica diferenciada no solo. A ausência de correlação entre P, Cu, Mn e H+Al com os demais atributos químicos reforça essa independência funcional (Figura 1).

De forma geral, a análise de correlação de Pearson evidenciou que os atributos de fertilidade do solo (Ca, Mg, K, pH, SB, CTC e V%) estão positivamente inter-relacionados e são influenciados pela presença de MOS, conforme observado no SAF02. Os resultados confirmam a relevância do manejo agroflorestal para a melhoria das condições químicas do solo, especialmente em sistemas com maior diversidade e ciclagem de nutrientes. Por outro lado, nos sistemas agroflorestais, a taxa de decomposição da matéria orgânica é mais lenta devido ao equilíbrio entre o cultivo e a entrada de matéria orgânica proveniente das árvores. Isso ocorre como uma estratégia complementar, contribuindo para a preservação da matéria orgânica no solo (Achmad et al., 2022).

A análise de componentes principais (ACP) confirmou os resultados do teste de médias, destacando o SAF02 como o sistema mais associado à fertilidade do solo (Figura 2). Esse sistema apresentou forte correlação com as bases trocáveis (Ca, Mg, K), matéria orgânica do solo (MOS), pH, CTC, SB e V%, indicando maior equilíbrio químico e disponibilidade de nutrientes. Os dois primeiros eixos da ACP explicaram 87,8% da variância total dos dados, sendo 62,5% atribuída ao Eixo 1 e 25,3% ao Eixo 2. A análise de agrupamento (Cluster) também isolou o SAF02 dos demais sistemas para a maioria dos atributos avaliados, corroborando sua singularidade química.

A superioridade do SAF02 pode estar relacionada ao manejo diversificado nas entrelinhas, com cultivo de espécies anuais como feijão, taioba, açafrão, mandioca e quiabo. Esse consórcio intensifica o aporte de resíduos orgânicos e favorece a ciclagem de nutrientes, promovendo o aumento da MOS e melhorando a estrutura e a retenção de nutrientes no solo (Freitas et al., 2018b; Achmad et al., 2022). A presença de pH mais elevado, aliado a teores superiores de P, Cu, Mn e Zn, também contribui para a melhor disponibilidade e absorção de nutrientes essenciais pelas plantas (Marchini et al., 2015; Khangura et al., 2023).

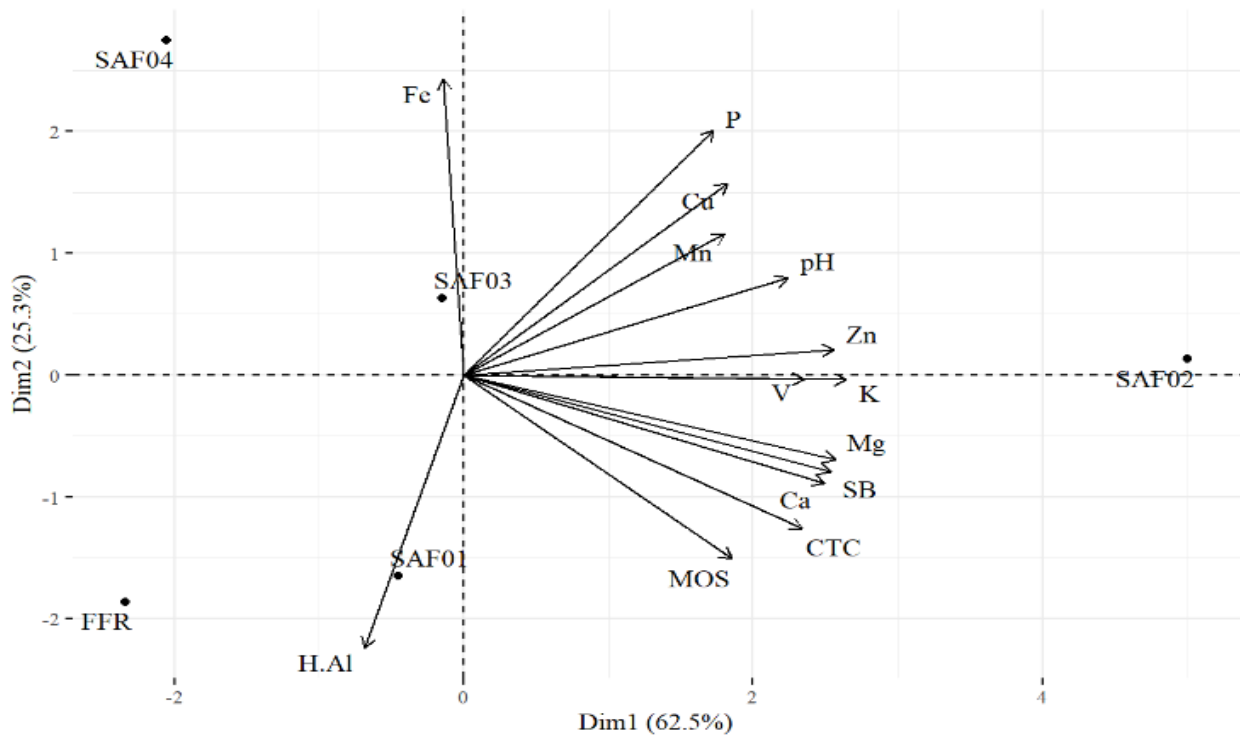


Figura 2. Análise de Componentes Principais (ACP) – Biplot dos atributos químicos do solo nos Sistemas Agroflorestais (SAFs) implantados em área impactada por barragem de mineração. As siglas representam: H+Al (acidez potencial), Mn (manganês), Cu (cobre), P (fósforo), Fe (ferro), SB (soma de bases), Ca (cálcio), Mg (magnésio), CTC (capacidade de troca catiônica), MOS (matéria orgânica do solo), Zn (zinco), K (potássio), V (saturação por bases) e pH. Os eixos Dim1 e Dim2 explicam, respectivamente, 62,5% e 25,3% da variância dos dados.

A análise de componentes principais (ACP) revela que o sistema FFR apresenta correlação negativa com o Componente Principal 1 (CP1), que explica 62,5% da variância total dos dados. Essa associação indica baixos teores de fósforo, pH e micronutrientes, com exceção do ferro, cujo valor se manteve elevado. Por outro lado, o SAF04 não apresentou contribuição expressiva na variação geral dos atributos químicos (Figura 2), embora tenha exibido os maiores teores de ferro, sendo, junto ao SAF03, um dos sistemas que mais explicam a variabilidade desse micronutriente.

A acidez potencial (H+Al) demonstrou relação inversa com fósforo, cobre, manganês, zinco e pH, indicando que o aumento da acidez está associado à diminuição desses nutrientes no solo (Figura 2). De forma semelhante, o ferro apresentou correlação negativa com potássio, cálcio, magnésio, saturação por bases (V%), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e matéria orgânica do solo (MOS). O ferro destacou-se como a variável mais associada à variação explicada pelo CP2, responsável por 25,3% da variância total.

Apesar dessas relações, os dados de acidez sugerem que o H+Al não representa um fator limitante relevante ao desenvolvimento vegetal nos sistemas analisados. De acordo com os critérios da 5ª aproximação da Embrapa (2011), os valores médios de acidez foram considerados baixos, indicando que os manejos realizados durante a implantação dos sistemas foram eficazes na neutralização da acidez do

solo. Além disso, as espécies arbóreas nativas utilizadas nos projetos de restauração demonstraram boa adaptação às condições químicas do solo, mesmo em ambientes inicialmente mais ácidos.

A análise de agrupamento (Figura 3) corrobora os resultados da ACP, evidenciando formação de grupos entre os sistemas e os atributos químicos. O SAF01 agrupou-se com o FFR, indicando características químicas similares. O SAF03 e o SAF04 formaram outro grupo, sugerindo padrões semelhantes de fertilidade e composição química. O SAF02, por sua vez, manteve-se isolado dos demais sistemas, confirmando sua singularidade em termos de fertilidade do solo e sua maior correlação com a maioria dos atributos químicos avaliados.

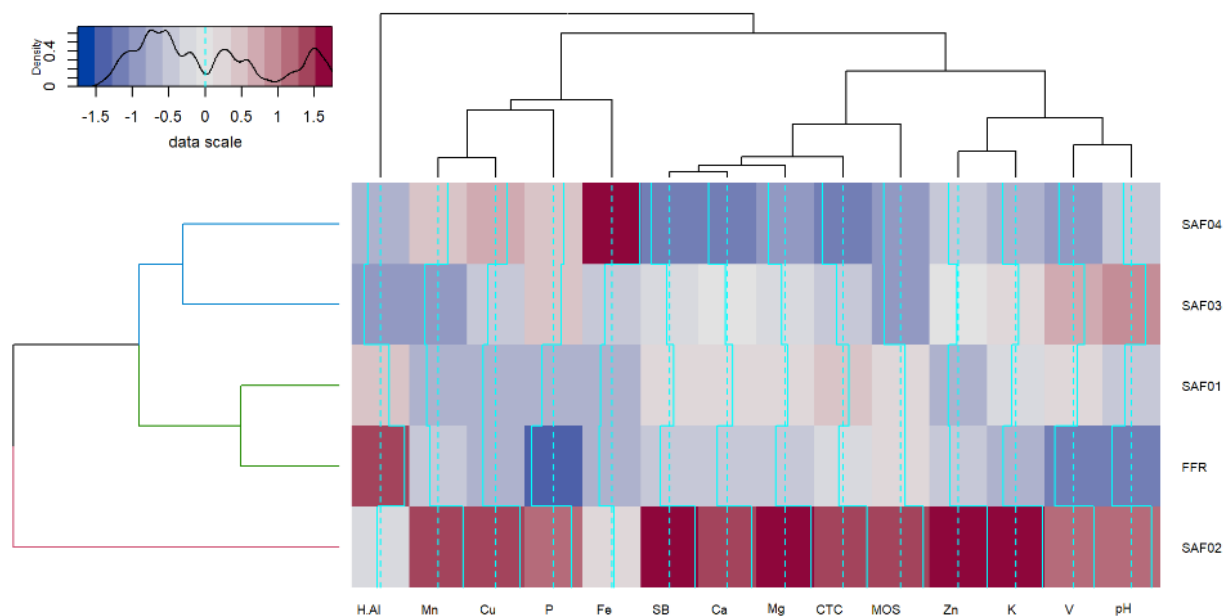


Figura 3. Análise de agrupamento hierárquico (cluster) dos atributos químicos do solo em diferentes Sistemas Agroflorestais (SAFs) implantados em área impactada por barragem de mineração. As siglas representam os atributos: H+Al (acidez potencial), Mn (manganês), Cu (cobre), P (fósforo), Fe (ferro), SB (soma de bases), Ca (cálcio), Mg (magnésio), CTC (capacidade de troca catiônica), MOS (matéria orgânica do solo), Zn (zinco), K (potássio), V (saturação por bases) e pH. O gradiente de cores indica a variação padronizada dos teores (z-score) entre os sistemas avaliados.

Houve a formação de grupo entre as variáveis SB, Ca, Mg, CTC e MOS (Figura 3), corroborando os dados apresentados pela análise de componentes principais (Figura 2).

A fertilidade química do solo, avaliada através da análise dos parâmetros químicos, demonstra em geral que o SAF02 se assemelhou em vários parâmetros com o fragmento florestal utilizado como referência comparativa. Este fato demonstra que a diversidade de espécies aliada a intensificação de manejo e aporte de material orgânico propiciada por este SAF pode refletir na melhoria da qualidade do solo, criando condições adequadas para o desenvolvimento das espécies vegetais implantadas.

Tabela 2. Análise granulométrica do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade nos diferentes sistemas de uso. Os valores expressam as porcentagens de argila, areia e silte nos Sistemas Agroflorestais (SAF01, SAF02, SAF03 e SAF04) e na área de referência (FFR – fragmento de floresta restaurada).

Descrição	Argila	Areia	Silte
	%		
FFR	15,59	72,26	12,15
SAF01	9,81	73,70	16,50
SAF02	8,12	85,92	5,96
SAF03	24,26	63,94	11,80
SAF04	11,55	81,87	6,58

Não houve diferença estatística no percentual de composição das frações areia, silte e argila entre os sistemas avaliados. Do ponto de vista granulométrico os sistemas apresentaram composição semelhante. Entretanto a análise de ACP (Figura 4) evidencia que alguns sistemas tiveram maior influência na variação dos dados comparativamente aos demais.

Não há diferença de classe de solo entre os sistemas. Quanto a classificação de textura os sistemas FFR e SAF01 são “franco arenoso”. O SAF02 e SAF04 são considerados “areia franca”. Já o SAF03 é classificado como franco argiloso.

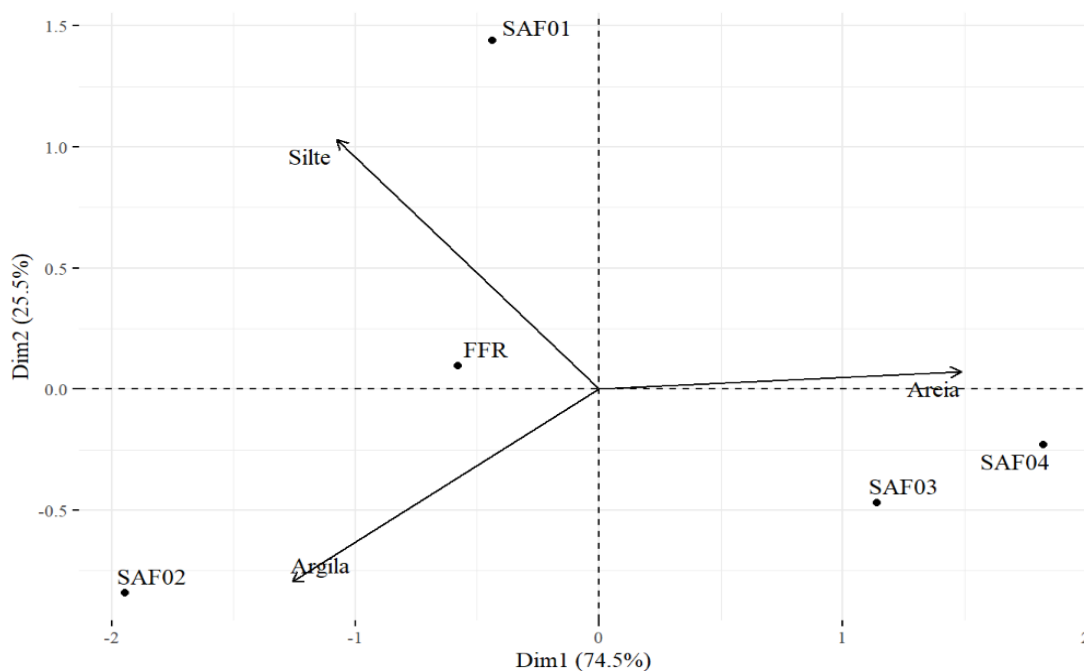


Figura 4. Análise de Componentes Principais (ACP) – Biplot da análise granulométrica do solo nos Sistemas Agroflorestais (SAFs) e fragmento de floresta restaurada (FFR). O gráfico mostra a distribuição dos sistemas de uso com base nas variáveis texturais: argila, areia e silte. Os componentes principais Dim1 e Dim2 explicam, respectivamente, 74,5% e 25,5% da variância total. As setas indicam a contribuição e direção de influência de cada variável granulométrica na separação dos sistemas.

Os dois primeiros componentes principais (Dim1 e Dim2) explicam, em conjunto, 100% da variabilidade total dos dados de areia, silte e argila (Figura 4). O CP1 (74,5% de variabilidade) é o componente que mais contribuiu para explicar a variabilidade dos dados, indicando que os sistemas e variáveis estão fortemente correlacionados nesse eixo. O CP2 (25,5% de variabilidade) representou uma parcela menor da variabilidade total, mas ainda possui relevância na explicação das relações entre os dados.

Quanto a distribuição dos sistemas no espaço de componentes, os sistemas SAF03 e SAF04 estão posicionados em direção oposta ao SAF02 no CP1, indicando diferenças significativas em relação às características analisadas. O CP2 não apresentou similaridade entre os sistemas. A areia apresentou maior contribuição para o CP1, sendo um fator importante para distinguir os sistemas SAF03 e SAF04 do SAF02. A silte apresentou valor positivo no CP2, contribuindo para variabilidade dos sistemas SAF01, FFR e SAF02 ao longo do eixo (Figura 4).

Trabalhos demonstram que as propriedades do solo foram melhoradas em sistemas agroflorestais em comparação com sistemas de monocultivo (Paudel, Bhandari & Joshi, 2012; Bardhan & Udawatta, 2013; Silva, 2013). Entretanto a textura do solo é uma propriedade pouco influenciada pelos sistemas de cultivo e mais dependente do material de origem e grau de intemperismo dos grânulos de areia, silte e argila.

CONCLUSÃO

Os sistemas agroflorestais avaliados demonstraram potencial para restaurar a fertilidade do solo em áreas impactadas por mineração, com destaque para o SAF02. A diversidade de espécies e o manejo adotado favoreceram a ciclagem de nutrientes e o acúmulo de matéria orgânica, evidenciando sua eficácia como ferramenta de restauração ecológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achmad, B., Sugiarto, M., Wiryawan, B., & others. (2022). Traditional subsistence farming and agroforestry: A review of implications for soil fertility and food security. *Sustainability*, 14(14), 8631. <https://doi.org/10.3390/su14148631>
- Achmad, D. L., Akbar, T., Ginting, A. N., & Hidayat, Y. (2022). The effect of agroforestry systems on soil multifunctionality: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 851, 158255. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158255>
- Bardhan, S., & Udawatta, R. P. (2013). Apparent soil electrical conductivity used to determine soil phosphorus variability in poultry litter amended pastures. *Journal of Environmental Agriculture and Innovation*, 3(2), 45–56.
- Brancalion, P. H. S., Viani, R. A. G., Strassburg, B. B. N., & Rodrigues, R. R. (2012). Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva*, 63(239), 41–50.

- Carmo, F. F., Kamino, L. H. Y., Tobias Junior, R., Campos, I. C., Carmo, F. F., Silvino, G., Pinto, C. E. F., & others. (2017). Fundão tailings dam failures: The environmental tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(3), 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.002>
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. (2015). Nota técnica sobre o rompimento da barragem de Fundão, Mariana – MG. CPRM.
- Embrapa Solos. (2013). Argissolos Vermelho e Vermelho-Amarelo: características e manejo. Embrapa Solos.
- Embrapa Solos. (2011). Manual de métodos de análise do solo (2^a ed.). Embrapa.
- Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). Cluster analysis (5th ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470977811>
- Field, A. (2013). Discovering statistics using IBM SPSS Statistics (4th ed.). SAGE.
- Foong, S. Z. Y., Karim, A. A., Abas, F., & Lim, S. J. (2022). Agroforestry as a climate-resilient strategy for enhancing food security and ecosystem services. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(10), 14267–14284. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16625-5>
- Freitas, L. B., Silva, F. R., & Oliveira, K. C. (2018). Intensified agroforestry systems enhance soil nutrient availability in degraded tropical soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 160–169.
- Freitas, W. K., Souza, L. A., Pinto, L. F. B., & Ferreira, A. G. (2018). Soil nutrient contents and phytosociology in agroforestry systems in the mountainous region of Rio de Janeiro, Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 40, e35368. <https://doi.org/10.4025/actascibiols.v40i1.35368>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Multivariate data analysis (8th ed.). Cengage.
- INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. (2004). Mapeamento de cobertura vegetal do Brasil. INDE.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2022). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). <https://bdmep.inmet.gov.br>
- Jolliffe, I. T. (2002). Principal component analysis (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/b98835>
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2020). factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses. R package.
- Khangura, H., Sharma, D., & Singh, M. (2023). Effect of soil pH on phosphorus availability in tropical soils. *Plant and Soil*, 469, 387–407. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05177-4>
- Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., & Bowyer, J. (2023). Regenerative agriculture: Literature review on practices and mechanisms improving soil health. *Sustainability*, 15(3), 2338. <https://doi.org/10.3390/su15032338>

- Marchini, A. J., Viana, E. M., Campos, M., & Silva, J. B. (2015). Recovery of soil structure and fertility under fast-growing tropical grasses. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, e0150482. <https://doi.org/10.1590/18069157rbcs20150482>
- Marchini, M., Fernandes, R. B. A., & Rodrigues, R. R. (2015). Soil quality indicators and evaluation of restoration success. In P. H. S. Brancalion & R. R. Rodrigues (Eds.), *Restauração florestal* (pp. 271–284). Oficina de Textos.
- Mar, E. M. (2016). *Clima e recursos hídricos do Brasil*. Oficina de Textos.
- Martins, S. V. (2018). *Restauração ecológica de ecossistemas degradados* (2ª ed.). UFV.
- Martins, S. V., Batista, R. A., & Lopes, J. F. B. (2022). Ecological restoration in areas impacted by mining tailings: Challenges and perspectives. *Cadernos de Agroecologia*, 17(2), e3075.
- Martins, S. V., Silva, K. A., & Barros, M. V. (2020). Ecological restoration techniques and their practical applications. *Revista Árvore*, 44, e440210. <https://doi.org/10.1590/1806-90882020000200010>
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (5th ed.). Wiley.
- Mukaka, M. M. (2012). A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, 24(3), 69–71.
- Omachi, C. Y., Soares, C. A., Leles, P. S. S., & Jacovine, L. A. G. (2018). Multicriteria analysis for defining priority areas for ecological restoration in the Doce River Basin. *Revista Árvore*, 42(4), e420410. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000400010>
- Paudel, D. R., Bhandari, R. J., & Joshi, R. (2012). Agroforestry buffer systems for improving soil quality in row crop landscapes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(2), 113–122. <https://doi.org/10.2489/jswc.2022.1028A>
- Philipson, C. D., & others. (2020). Active restoration accelerates the carbon recovery of human-modified tropical forests. *Science*, 369(6508), 838–841. <https://doi.org/10.1126/science.aba5036>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Silva, M. A. (2013). Soil fertility improvement under agroforestry and monoculture systems in the tropics. *Journal of Tropical Ecology*, 29(5), 1–10.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5ª ed.). Embrapa.
- SOS Mata Atlântica. (2017). *Nota técnica: Avaliação dos impactos e ações de reparação da tragédia de Mariana*. Fundação SOS Mata Atlântica.
- Suarez, F., & others. (2021). *Adapted protocol for assessing sampling units in ecological restoration* [Technical report].
- Signorelli, A. (1997). *Geografia física da microrregião do Vale do Rio Pardo*. EDUNISC.

- Van Noordwijk, M., & others. (2019). Agroforestry into the future: How far and how fast? In M. van Noordwijk (Ed.), Sustainable development through trees on farms (pp. 229–247). World Agroforestry (ICRAF). <https://doi.org/10.3390/land10070699>
- Warnes, G. R., & others. (2022). gplots: Various R programming tools for plotting data. R package.
- Xu, S., Eisenhauer, N., Zeng, Z., Mo, X., Ding, Y., Lai, D. Y. F., & Wang, J. (2024). Drivers of soil organic carbon recovery under forest restoration: A global meta-analysis. *Carbon Research*, 3, 80. <https://doi.org/10.1007/s44246-024-00165-6>
- Yeomans, J. C., & Bremner, J. M. (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19(13), 1467–1476. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>

Índice Remissivo

A

Agenda 2030, 106, 114
Algas, 79, 80

B

Bactérias, 77
Biossorção, 75, 87

C

captação superficial, 43, 46

D

dessedentação animal, 41, 42, 45, 46, 48
disponibilidade hídrica, 42, 46, 48

E

Educação Profissional, 65, 68, 69, 70, 71
Educação Profissional e Tecnológica, 69, 70, 71

F

Fitoextração, 84

G

gestão hídrica, 41, 42, 45, 46

M

Mata Atlântica, 6, 8

O

ODS 14, 106, 109, 114

R

recursos hídricos, 41, 42, 44, 47, 48

S

Sistemas Agroflorestais, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 16, 17
Sistemas Agroflorestais (SAFs), 15, 16, 17
Sustentabilidade, 3, 106, 115

T

Terras raras, 4, 72, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 91

Sobre os organizadores



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós-Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 237 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 131 resumos simples/expandidos, 86 organizações de e-books, 53 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 23 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto II na UEMA em Balsas. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante (2018-2022) na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Professor substituto (2023-Atual) na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia, MS, Brasil. Atualmente, possui 184 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 69 organizações de e-books, 53 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora, e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: j51173@yahoo.com



  **Bruno Rodrigues de Oliveira**

Graduado em Matemática pela UEMS/Cassilândia (2008). Mestrado (2015) e Doutorado (2020) em Engenharia Elétrica pela UNESP/Ilha Solteira. Pós-doutorado pela UFMS/Chapadão do Sul na área de Inteligência Artificial aplicada na Engenharia Florestar/Agronômica. É editor da Pantanal Editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences e Analista no Tribunal de Justiça de Mato Grosso do Sul. Tem experiência nos temas: Matemática, Processamento de Sinais via Transformada Wavelet, Análise Hierárquica de Processos, Teoria de Aprendizagem de Máquina e Inteligência Artificial, com ênfase em aplicações nas áreas de Engenharia Biomédica, Ciências Agrárias e Organizações Públicas. Contato: bruno@editorapantanal.com.br



9786585756693

O nono volume do e-book Inovações em Pesquisas Agrárias e Ambientais apresenta estudos científicos focados nos desafios atuais do Brasil, como as mudanças climáticas e a necessidade de sistemas produtivos sustentáveis.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br