ASPECTOS GERAIS E MANEJO DE SOLOS DE MONTANHA

MARCOS GERVASIO PEREIRA
GUILHERME KANGUSSU DONAGEMMA
EDUARDO DE SÁ MENDONÇA
PEDRO LUIZ DE FREITAS
RENATO LINHARES E ASSIS

Atena Editora
Ano 2025

ASPECTOS GERAIS E MANEJO DE SOLOS DE MONTANHA

MARCOS GERVASIO PEREIRA
GUILHERME KANGUSSU DONAGEMMA
EDUARDO DE SÁ MENDONÇA
PEDRO LUIZ DE FREITAS
RENATO LINHARES E ASSIS

Atena Editora
Ano 2025

2025 by Atena Editora
Copyright © 2025 Atena Editora
Copyright do texto © 2025, o autor
Copyright da edição © 2025, Atena Editora
Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.
Open access publication by Atena Editora

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira Scheffer
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Yago Raphael Massuqueto Rocha

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo desta obra, em sua forma, correção e confiabilidade, é de responsabilidade exclusiva dos autores. As opiniões e ideias aqui expressas não refletem, necessariamente, a posição da Atena Editora, que atua apenas como mediadora no processo de publicação. Dessa forma, a responsabilidade pelas informações apresentadas e pelas interpretações decorrentes de sua leitura cabe integralmente aos autores.

A Atena Editora atua com transparência, ética e responsabilidade em todas as etapas do processo editorial. Nosso objetivo é garantir a qualidade da produção e o respeito à autoria, assegurando que cada obra seja entregue ao público com cuidado e profissionalismo.

Para cumprir esse papel, adotamos práticas editoriais que visam assegurar a integridade das obras, prevenindo irregularidades e conduzindo o processo de forma justa e transparente. Nosso compromisso vai além da publicação, buscamos apoiar a difusão do conhecimento, da literatura e da cultura em suas diversas expressões, sempre preservando a autonomia intelectual dos autores e promovendo o acesso a diferentes formas de pensamento e criação.

Aspectos Gerais e Manejo de Solos de Montanha

| Organizadores:
Marcos Gervasio Pereira
Eduardo de Sá Mendonça
Renato Linhares e Assis
Guilherme Kangussu Donagemma
Pedro Luiz de Freitas

| Revisão:
Os autores

| Diagramação:
Nataly Gayde

| Capa:
Yago Raphael Massuqueto Rocha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A838 Aspectos gerais e manejo de solos de montanha / Marcos Gervasio Pereira, Guilherme Kangussu Donagemma, Eduardo de Sá Mendonça, et al. - Ponta Grossa – PR: Atena, 2025.

Outros autores
Pedro Luiz de Freitas
Renato Linhares e Assis

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-3805-2
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.052251112

1. Solos - Manejo. I. Pereira, Marcos Gervasio. II. Donagemma, Guilherme Kangussu. III. Mendonça, Eduardo de Sá. IV. Título.

CDD 631.41

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
+55 (42) 3323-5493
+55 (42) 99955-2866
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

CONSELHO EDITORIAL

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

PREFÁCIO

Os **solos de montanha** configuram sistemas singulares, definidos por forte gradiente topográfico, pedogênese particular e elevada heterogeneidade microclimática. "Aspectos gerais e manejo do solo em solos de montanha" apresenta uma síntese clara e atualizada sobre atributos físicos, químicos e biológicos desses ambientes, articulando bases conceituais e diretrizes práticas para conciliar produtividade, conservação e resiliência frente às mudanças climáticas.

Este volume se insere em uma trajetória recente de amadurecimento científico. O congresso **MOUNTAINS 2018** ampliou o enfoque sobre vulnerabilidade de encostas e soluções baseadas na natureza, conectando manejo conservacionista e resiliência socioecológica. Na sequência, a **RBMCS 2024**, em Viçosa, consolidou a convergência entre conservação do solo e produção em relevo íngreme, com ênfase em cobertura permanente, cultivo em contorno, terraceamento, sistemas agroflorestais e plantio direto adaptado às condições de montanha. Essas agendas dão lastro às análises aqui reunidas.

A aprovação, em 2025, do **INCT – Agricultura de Montanha** pelo **CNPq** constitui marco institucional ao estruturar redes colaborativas, séries de longo prazo e transferência tecnológica territorializada. Ao promover integração entre grupos e regiões, cria condições para diagnósticos comparáveis e para o **manejo adaptativo** baseado em evidências.

Nesse contexto, a obra oferece base científica consistente e operacional, convertendo conhecimento acumulado em orientações técnicas aplicáveis. Ao integrar diagnóstico, práticas conservacionistas e governança, contribui para paisagens produtivas mais **resilientes**, socialmente inclusivas e ambientalmente responsáveis, reafirmando a relevância estratégica do tema para a agricultura em áreas de montanha.

Teogenes Senna de Oliveira

Professor Titular do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa

Divisão -Solo no Espaço e no Tempo

INCT Montanhas

Embrapa Solos

PPGA-CS UFRRJ

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE - ASPECTOS GERAIS DE SOLOS DE MONTANHA DO BRASIL

CAPÍTULO 1 2

CLASSES DE SOLOS E ESPECIFICIDADES EM AMBIENTES DE MONTANHA

Ademir Fontana

Marcos Gervasio Pereira

https://doi.org/10.22533/at.ed.0522511121

CAPÍTULO 2 11

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM ÁREAS DE MONTANHA COMO ALIADOS À ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

Ana Paula Dias Turetta

Claudia Moster

Alba Leonor da Silva Martins

Elaine Cristina Cardoso Fidalgo

Joyce Maria Guimarães Monteiro

https://doi.org/10.22533/at.ed.0522511122

SEGUNDA PARTE - PRÁTICAS DE MANEJO PARA PRESERVAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DO SOLO

CAPÍTULO 3 27

MANEJO DE CAFEEIROS EM AMBIENTES MONTANHOSOS

Eduardo S. Mendonça

Irene M. Cardoso

https://doi.org/10.22533/at.ed.0522511123

SUMÁRIO

SUMÁRIO

CAPÍTULO 4 33

USO DOS SOLOS EM AMBIENTES DE MONTANHA NA AMAZÔNIA: O CASO DA AGRICULTURA INDÍGENA NO NORTE DE RORAIMA

Valdinar Ferreira Melo
Vera Lucy Brandão
Sandra Cátia Pereira Uchôa
Carlos Ernesto G. R. Schaefer
Joaquim Parimé Pereira Lima
Maurício Lourezoni Augusti

https://doi.org/10.22533/at.ed.0522511124

CAPÍTULO 5 55

CONTROLE DO PROCESSO DE EROSÃO HÍDRICA E MITIGAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Pedro Freitas
Guilherme K. Donagemma
Ana Paula G. de Farias
Marcos Gervasio Pereira
Nivaldo Schultz
Yan Vidal de Figueiredo Gomes Diniz

https://doi.org/10.22533/at.ed.0522511125

CAPÍTULO 6 82

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS EM VINHEDOS DAS REGIÕES DE ALTITUDE DE SANTA CATARINA

Denilson Dortzbach
Marcos Gervasio Pereira
Renato Sinquini de Souza
Erico Albuquerque dos Santos
Luana Moreira Florisbal
Arcângelo Loss

https://doi.org/10.22533/at.ed.0522511126

SUMÁRIO

CAPÍTULO 7 109

PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS EM REGIÕES MONTANHOSAS DE SANTA CATARINA

Arcângelo Loss
Bruna da Rosa Dutra
Paulo Henrique Câmara
Heitor Flores Lizarelli
Leonardo Khaoê Giovanetti
Jamil Fayad Abdala
Marcelo Zanella
Cledimar Rogério Lourenzi
Paulo Emílio Lovato
Jucinei José Comin

https://doi.org/10.22533/at.ed.0522511127

CAPÍTULO 8 137

CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR METAIS PESADOS EM AGROECOSSISTEMAS DE MONTANHA: O CASO DA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO

Erica Souto Abreu Lima
Leonardo Durval Duarte Guimarães
Camila da Costa Barros de Souza
Farley Alexandre da Fonseca Breda
Daniel Vidal Pérez
Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho

https://doi.org/10.22533/at.ed.0522511128

CAPÍTULO 9 169

MACROFAUNA INVERTEBRADA DO SOLO COMO INDICADOR DE QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTES DE MONTANHAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Sandra Santana de Lima
Adriana Maria de Aquino
Cyndi dos Santos Ferreira
Rafaela Martins da Silva
Renato Linhares de Assis
Marcos Gervasio Pereira

https://doi.org/10.22533/at.ed.0522511129

SUMÁRIO

CAPÍTULO 10.....187

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E INFILTRAÇÃO DA ÁGUA A PARTIR DE CHUVA SIMULADA EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS EM NOVA FRIBURGO, RJ

Nivaldo Schultz
Karine de Oliveira Andrade
Carlos Roberto Pinheiro Junior
Marcos Gervasio Pereira

https://doi.org/10.22533/at.ed.05225111210

CAPÍTULO 11.....213

SOLOS DE ÁREAS DE AGRICULTURA DE MONTANHA NO SUDESTE DO BRASIL: CARACTERIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E POTENCIALIDADES PARA USO AGRÍCOLA

Silver Rodrigues Zandoná
Robert Ferreira
Leonardo Torres Barbosa
Otavio Augusto Queiroz dos Santos
Hugo Souza Fagundes
Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto
Marcos Gervasio Pereira

https://doi.org/10.22533/at.ed.05225111211

CAPÍTULO 12.....240

SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CAFÉ SOMBREADO NA REGIÃO DA SERRA DE BATURITÉ: CONTEXTO, TRAJETÓRIA E ALTERNATIVA PARA A CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Hugo Felipe da Silva
Teogenes Senna de Oliveira

https://doi.org/10.22533/at.ed.05225111212

PRIMEIRA PARTE

ASPECTOS GERAIS DE SOLOS DE MONTANHA DO BRASIL

CAPÍTULO 1

CLASSES DE SOLOS E ESPECIFICIDADES EM AMBIENTES DE MONTANHA

Ademir Fontana
Pesquisador da Embrapa Gado de Corte
Campo Grande, MS

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

INTRODUÇÃO

Os ambientes de montanha no Brasil são geologicamente estáveis e muito mais antigos que os demais da América do Sul, como aqueles que ocorrem na Cordilheira dos Andes. Constituídos por rochas com grande variação na composição e em paisagens com grande amplitude altitudinal que condiciona clima altomontano (temperado) ou tropical úmido, o intemperismo favorecendo a transformação dos minerais (associado a perdas de bases e sílica) e a erosão laminar ou movimentos de massa, são processos ativos e expressivos, favorecendo a grande variação de formas das paisagens, vegetação e solos.

Nas distintas paisagens, os solos formados apresentam grande influência das baixas temperaturas, proporcionadas pela maior altitude, condicionando em especial o acúmulo de grandes quantidades de matéria orgânica em superfície, podendo levar a formação de solos com horizontes de constituição mineral com altos teores de carbono (A húmico ou A proeminente), horizontes orgânicos (O hístico) e até mesmo solos orgânicos (Organossolos Fólicos). Nas paisagens estáveis, especialmente nas formas convexas, ocorrem os solos minerais "relictuais" que foram formados em condições de clima ameno e seco do passado recente (paleoclima), os quais, se destacam dos demais pelo elevado teor de carbono e grande espessura nos horizontes superficiais.

Adicionalmente, nas regiões abaciadas, ocorrem depósitos orgânicos, como as turfeiras, armazenando elevadas quantidades de matéria orgânica e água, devido à baixa condutividade hidráulica e elevada capacidade de retenção de água. Entremeados aos solos mencionados anteriormente, em paisagens submetidas a processos erosivos mais intensos ocorrem solos rasos e com fragmentos de rochas e, por outro lado, em paisagens côncavas e convexas mais estáveis e com menor erosão, solos profundos e de cores avermelhadas e amareladas.

Os solos desse ambiente de maneira geral apresentam como principais características a baixa fertilidade natural, decorrente dos reduzidos teores de nutrientes, associado aos elevados teores de alumínio trocável. Essa condição se deve à remoção das bases por lixiviação ou mesmo à baixa quantidade presentes nos materiais de origem, rochas de caráter ácido (granitos, gnaisses, riodacitos), arenosas (quartzitos) ou facilmente intemperizáveis, como as rochas básicas (basalto). Essa última distingue-se das anteriores por apresentar maior proporção de minerais primários, que podem contribuir no fornecimento de nutrientes.

PAISAGENS, TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS

Dentre os ambientes montanhosos de maior expressão com áreas utilizadas para o cultivo agrícola, destaca-se a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira (Figura 1). Essas áreas são denominadas de Serras Atlânticas, por estarem localizadas próximas e paralelas à costa, desde o sul ao sudeste do país.

No interior do país destacam-se a Serra do Espinhaço, do sudeste ao nordeste e, a Serra Geral ao sul (Figura 1). Outras formações, não abordadas neste texto incluem diversas Cordilheiras e Planaltos da região norte, na fronteira com a Venezuela, além de serras e chapadas ao longo do centro-oeste, sudeste e nordeste.

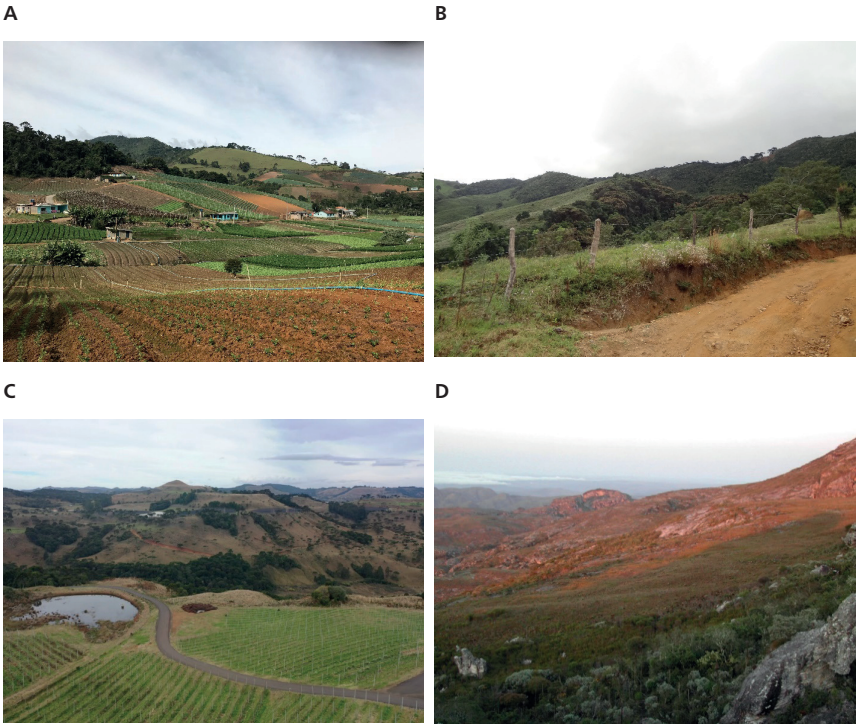


Figura 1. Paisagem montanhosa da Serra do Mar (A), Serra da Mantiqueira (B), Serra Geral (C) e Serra do Espinhaço (D). Fotos: Ademir Fontana (A e B); Erico Albuquerque dos Santos (C); Ingrid Horák Terra (D).

Em todos os ambientes, os solos, além de apresentarem graus de desenvolvimento distintos, podem apresentar variação do tipo de horizonte superficial, tanto pela espessura, quanto pelo teor de carbono orgânico e nutrientes.

De maneira, os solos em todas as regiões possuem em sua composição a participação significativa da matéria orgânica nas camadas ou horizontes superficiais, sendo que em alguns pode ser observada a ocorrência do horizonte orgânico O hístico (Figura 2). Esse horizonte por definição, apresenta teor de C org ≥ 80,0 g kg^{-1}, composto por folhas, galhos em diferentes graus de decomposição e drenagem livre (Santos *et al.*, 2018). A formação desse solo se deve ao acúmulo de matéria orgânica pela menor taxa de decomposição em condição das baixas temperaturas.

Também, com participação significativa da matéria orgânica, é verificada a presença de solos com horizonte superficial mineral A húmico (Santos *et al.*, 2018) "relictual" (Figura 2). Os solos que possuem esse horizonte, apresentam cores escuras,

altos teores de carbono orgânico, saturação por bases (valor V) < 65%, e grande espessura (Santos *et al.*, 2018). A formação desse solo ocorreu em condição climática com vegetação graminoide ou mista, clima ameno e seco e, elevada atividade da fauna ao longo do Holoceno, especialmente nos últimos 5.000 anos (Buol; Eswaram, 1999; Calegari, 2008; Lepsch; Buol, 1988; Queiroz Neto; Castro, 1974). A ocorrência nas condições de paisagem e clima atual, com declividade elevada e clima tropical úmido (maior chuva), é função da resistência devido à elevada estabilidade da estrutura e da forma convexa da paisagem que gera divergência das linhas de fluxo de água, minimizando dessa forma a erosão hídrica (Fontana *et al.*, 2017).

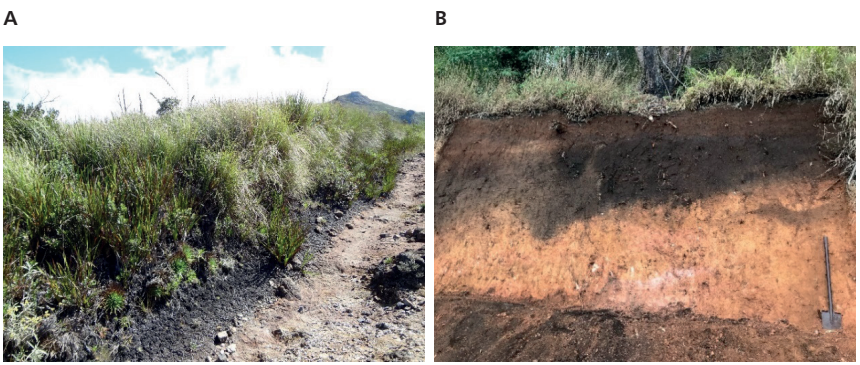


Figura 2. Paisagem com horizonte O hístico na Serra da Mantiqueira (município de Itatiaia) (A) e horizonte A húmico "relictual" na Serra do Mar (município de Nova Friburgo), estado do Rio de Janeiro (B). Fotos: Ademir Fontana.

Solos da Serra do Mar

Nas paisagens com maior grau de declividade e deposição de sedimentos coluviais ocorrem os solos mais rasos e com presença de fragmentos de rocha, como os Neossolos Litólicos, Cambissolos Húmicos ou Cambissolos Háplicos (Figura 3) (Fontana *et al.*, 2017).

Os solos com maior grau de desenvolvimento ocorrem nas encostas mais estáveis, sendo observado nas formas côncavas os Argissolos Vermelhos-Amarelos, Vermelhos e Amarelos, enquanto, nas paisagens convexas, os Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos (Figura 3) (Fontana *et al.*, 2017).

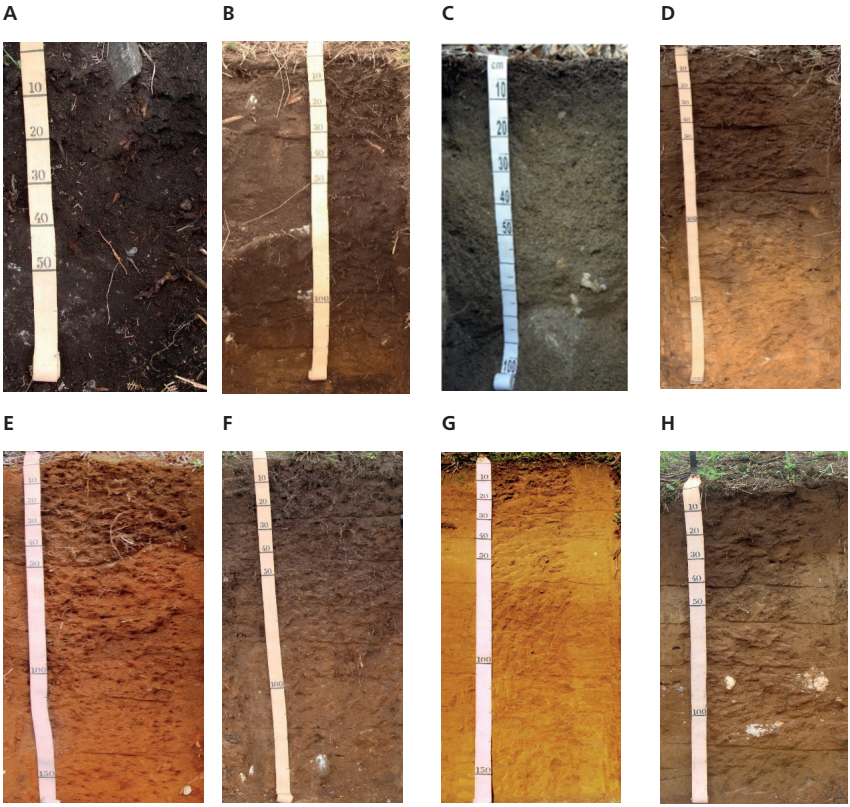


Figura 3. Perfis de solo da Serra do Mar. Neossolo Litólico Húmico (A), Cambissolo Húmico (B), Cambissolo Háplico (C), Latossolo Amarelo – A húmico "relictual" (D), Latossolo Vermelho-Amarelo (E), Argissolo Vermelho (F), Argissolo Amarelo (G) e Argissolo Vermelho-Amarelo (H). Fotos: Ademir Fontana.

Solos da Serra da Mantiqueira

Nas posições convexas e de drenagem livre, o clima úmido e frio, que ocorre durante a maior parte do ano, reduz a atividade dos micro-organismos do solo, diminuindo a decomposição da serapilheira, processo que favorece o acúmulo e a preservação da matéria orgânica do solo, levando a formação de horizontes hísticos nas classes dos Organossolos Fólicos e Neossolos Litólicos (Figura 4) (Silva Neto *et al.*, 2018).

Além dos solos anteriores mencionados, são verificados Neossolos Litólicos Húmicos, Cambissolos Hísticos e Cambissolos Húmicos (Figura 4). Os solos com horizontes A húmico são formados sob duas condições de acúmulo de matéria orgânica, sendo, pela redução da decomposição em condição atual de clima úmido e frio, ou "relictual", como ocorre na Serra do Mar.

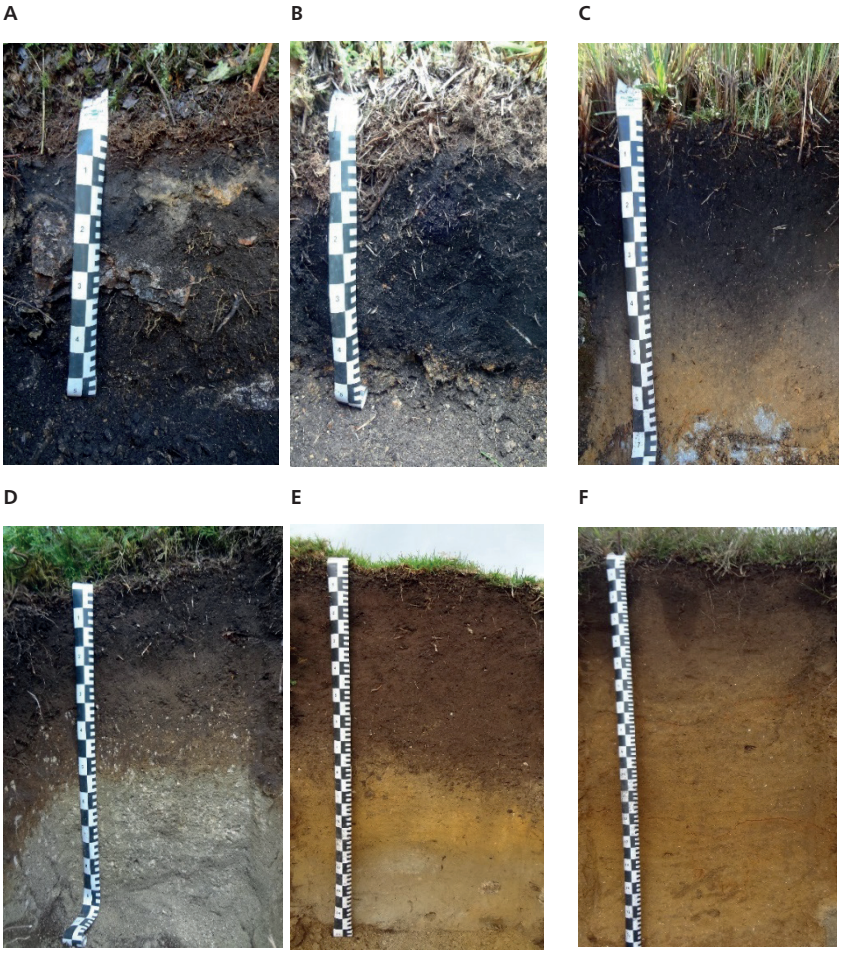


Figura 4. Perfis de solo da Serra da Mantiqueira. Organossolo Fólico (A), Neossolo Litólico Hístico (B), Cambissolo Hístico (C), Cambissolo Húmico (D), Cambisso Húmico e Latossolo Amarelo – A húmico ''relictual'' (E e F). Fotos: Ademir Fontana.

Solos da Serra Geral e Campos Gerais

Nas áreas de ocorrência de rochas básicas (basaltos), são verificados solos com altos teores de argila e coloração avermelhada, com o predomínio de Nitossolos Vermelhos e Háplicos e Latossolos Vermelhos (Figura 5) (Dortzbach *et al.*, 2016). Em locais com rochas ácidas (riodacitos) são observados os Cambissolos Háplicos e menor ocorrência de Nitossolos Brunos e Neossolos Litólicos, invariavelmente ácidos (Figura 5) (Dortzbach *et al.*, 2016; Teske *et al.*, 2006). Na área de ocorrência de rochas sedimentares, são identificados Neossolos Regolíticos Húmicos, Cambissolos Háplicos e Cambissolos Húmicos (Figura 5) (Almeida *et al.*, 2019; Dortzbach *et al.*, 2016).

Nessa região, também há solos com propriedades ândicas, caracterizados por baixa densidade do solo, grande quantidade de minerais de carga variável, tais como alofana, imogolita, ferriidrita e/ou complexos organometálicos com alumínio, que contribuem para uma alta retenção do nutriente fosfato, tornando-o prontamente indisponível para as plantas. As propriedades ândicas podem ser observadas nos Organossolos Fólicos e Cambissolos Hísticos (Figura 5), sendo de menor expressão nos Organossolos Háplicos e Cambissolos Húmicos (Santos Junior; Almeida, 2021).

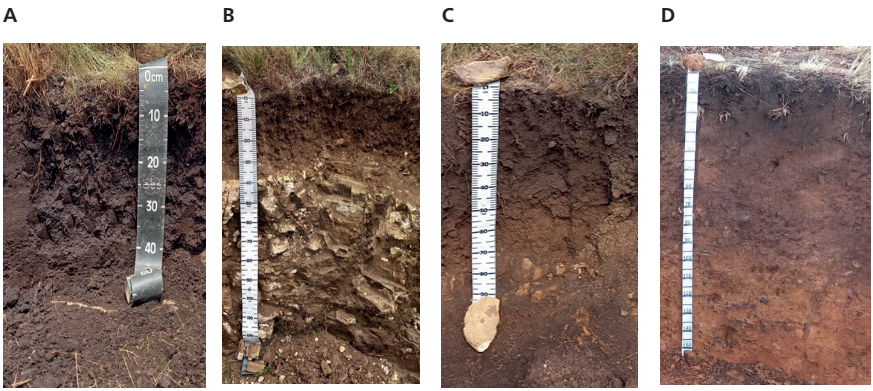


Figura 5. Perfis de solo da Serra Geral e Campos Gerais. Organossolos Fólicos (A), Neossolos Litólicos (B), Cambissolos Húmicos (C), Nitossolos Brunos (D). Fonte: Arcangelo Loss.

Solos da Serra do Espinhaço

Diferindo das demais regiões, nesse ambiente é observada a vegetação de Cerrado e litologia com metarenitos. Os solos que ocorrem são predominantemente rasos e com baixos teores de nutrientes e por vezes de textura arenosa, como os Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos (Figura 6) (Silva, 2004).

Em diversas depressões com acúmulo de água que limita a decomposição de resíduos orgânicos, como caules, galhos, talos e folhas, observa-se maiores teores de matéria orgânica, como turfeiras em condições sápricas (muito decompostas) e solos como os Organossolos Háplicos. Em menores ocorrências os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos e Organossolos Fólicos (Figura 6) (Silva Neto *et al.*, 2018).

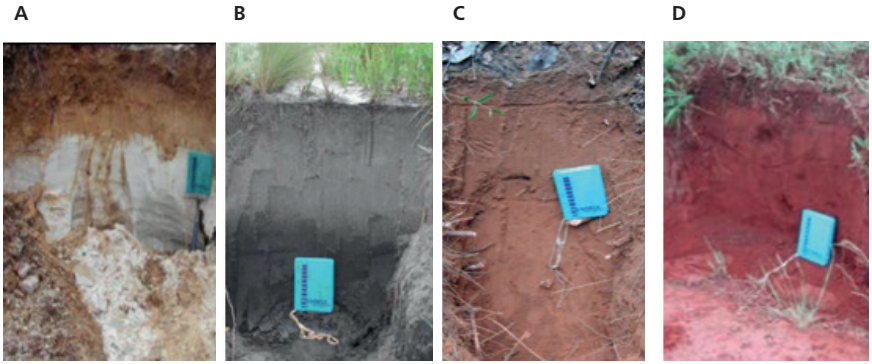


Figura 6. Perfis de solo da Serra do Espinhaço. Neossolo Litólico (A), Neossolo Quartzarênico (B), Cambissolo Háplico (C) e Latossolo Vermelho (D). Fotos: Alexandre Christofaro Silva.

COMENTÁRIOS FINAIS

Os solos desenvolvidos nesses ambientes são fortemente influenciados pelas condições de clima e relevo atual, os quais combinados favorecem o acúmulo de matéria orgânica pela menor atividade microbiológica, ou até mesmo, pelas condições pretéritas que propiciaram acúmulo, estabilização e resistência à erosão.

A grande diversidade de solos e do relevo propicia grande variabilidade quanto ao potencial para uso e cultivo agrícola e ainda a susceptibilidade à erosão. A erosão hídrica é o principal componente de degradação dos solos nas diferentes formas de utilização, podendo ser citado, áreas de cultivo, construção de estradas ou cidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. A.; SILVA, T. P.; CUNHA, G. O. M.; SPIDO, D. R.; SILVA, F. T. S. Atributos químicos, físicos e mineralógicos de solos derivados de rochas sedimentares do Planalto de Lages-SC, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 3, e6576, 2019.

BUOL, S. W.; ESWARAN, H. Oxisols. **Advances in Agronomy**. v. 68, 151-195, 1999.

CALEGARI, M. R. **Ocorrência e significado paleoambiental do Horizonte A húmico em Latossolos**. [tese]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2008.

DORTZBACH, D.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; FONTANA, A.; SILVA NETO, E. C. Genesis and Classification of Soils from Subtropical Mountain Regions of Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2016; 40:e0150503.

FONTANA, A.; CHAGAS, C. S.; DONAGEMMA, G. K.; MENEZES, A. R.; CALDERANO FILHO, B. Soils developed on geomorphic surfaces in the mountain region of the State of Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-17, 2017.

LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W. Oxisol-landscape relationship in Brazil. *In:* **Proceedings** of the 8th International Soil Classification Workshop; Campinas; 1986. Rio de Janeiro: Embrapa, SNLCS; University of Puerto Rico; 1988. p.174-189.

QUEIROZ NETO, J. P.; CASTRO, S. S. Formações superficiais e Latossolo Vermelho-Amarelo húmico na área de Bragança Paulista, estado de São Paulo, Brasil. *In:* **Anais** 18° Congresso Brasileiro de Geologia; 1974; Porto Alegre. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia; 1974. p. 65-83.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa; 2018.

SANTOS JUNIOR, J. B.; ALMEIDA, J. A. Andic properties in soils with histic horizon "O" in the highlands of Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 45, 2021. Doi: https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200152

SILVA, A. C. **Plano de manejo do Parque Estadual do Biribiri (PEB) – Minas Gerais. Diagnóstico e avaliação pedológica. Relatório final**. Março, 2004.

SILVA NETO, E. C.; SANTOS, J. J. S.; PEREIRA, M. G.; MARANHÃO, D. D. C.; BARROS, F. da C.; ANJOS, L. H. C. Paleoenvironmental Characterization of a High-Mountain Environment in the Atlantic Forest in Southeastern Brazil. **Rev Bras Cienc Solo,** 2018; 42:e0170415.

TESKE, R.; ALMEIDA, J. A. de; HOFFER, A.; LUNARDI NETO, A. Chemical, physical and morphological characterization of soils derived from effusive rocks on the south plateau of Santa Catarina, Brazil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v. 12, n. 2, p. 175-186, 2013.

CAPÍTULO 2

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM ÁREAS DE MONTANHA COMO ALIADOS À ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

Ana Paula Dias Turetta
Pesquisadora da Embrapa Solos, Jardim Botânico, RJ
Programa em Desenvolvimento Territorial e Políticas Públicas (PPGDT)/UFRRJ

Claudia Moster
Professora Adjunta do Departamento de Ciências Ambientais e Florestais
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Alba Leonor da Silva Martins
Pesquisadora da Embrapa Solos, Jardim Botânico, RJ

Elaine Cristina Cardoso Fidalgo
Pesquisadora da Embrapa Solos, Jardim Botânico, RJ

Joyce Maria Guimarães Monteiro
Pesquisadora da Embrapa Solos, 1024, Jardim Botânico, RJ,

INTRODUÇÃO

As áreas de montanha, conhecidas por sua beleza cênica e biodiversidade única, enfrentam desafios crescentes devido às mudanças climáticas e aos eventos climáticos extremos. Este capítulo examina a importância dos serviços ecossistêmicos nesses ambientes como aliados essenciais para a adaptação às mudanças globais. Com características geográficas e ecológicas distintas, as montanhas desempenham um papel crucial na regulação climática, na gestão dos recursos hídricos e na proteção da biodiversidade. Avaliar como os serviços ecossistêmicos podem ser utilizados para mitigar os impactos adversos é fundamental para a manutenção dos benefícios que esses ecossistemas proporcionam.

Os efeitos das mudanças climáticas são particularmente agudos em ecossistemas de montanha devido à sua vulnerabilidade intrínseca e à exposição a fatores como o aumento de temperaturas, a variabilidade das precipitações e a frequência de eventos extremos. Este capítulo explora como esses fatores afetam a dinâmica

dos ecossistemas montanhosos, analisando a resiliência ecológica e a capacidade adaptativa dos serviços ecossistêmicos. Tais serviços, como a retenção de água pelo solo, a proteção contra erosão e o sequestro de carbono, são cruciais para sustentar a vida tanto no ambiente montanhoso quanto nas comunidades humanas que dele dependem.

Exemplos de iniciativas de conservação e manejo sustentável são apresentados para ilustrar como é possível maximizar os benefícios dos serviços ecossistêmicos em áreas de montanha. Estas estratégias demonstram que, por meio de abordagens integradas e participativas, é possível desenvolver soluções eficazes para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Tais soluções baseadas na natureza são cruciais não apenas para a proteção ambiental, mas também para promover o bem-estar das populações locais, assegurando um futuro mais sustentável e resiliente para esses ecossistemas singulares.

O ambiente de montanha

O ambiente de montanha se caracteriza como de elevada energia, tendo em vista as forças motrizes relacionadas à elevação absoluta (que controla a temperatura e a precipitação), gradiente (que controla a força erosiva), relevo (robustez do terreno), encostas côncavas (que tendem a concentrar água) e encostas convexas (que tendem a dispersar água) (Slaymaker; Embleton-Hamann, 2018). Esse conjunto de fatores irá determinar uma série de processos que ocorrem nesse ambiente, tais como a dinâmica meteorológica, densidade de drenagem, ciclo biogeoquímico e o transporte de sedimentos nas encostas, e susceptibilidade a inundações e deslizamentos, tornando esses ambientes extremamente expostos aos impactos das mudanças climáticas. Tais mudanças têm o potencial de gerar consequências graves para as pessoas, as infraestruturas e a economia nas regiões montanhosas, principalmente devido ao aumento previsto na frequência e intensidade da precipitação intensa (alta confiança) (IPCC, 2023).

Há evidências abundantes de que as regiões montanhosas tendem a aquecer mais rapidamente do que as áreas baixas circundantes e, assim, amplificam os efeitos do aumento das temperaturas nas comunidades de plantas de terras altas em longo prazo; o aumento da altitude de formação de nuvens e a diminuição da disponibilidade de água foram observados em resposta a temperaturas médias anuais mais elevadas do ar em regiões montanhosas tropicais nas últimas décadas (Mata-Guel *et al.*, 2023). Ainda, segundo os mesmos autores, mesmo que as alterações médias anuais na precipitação sejam pequenas, mudanças sazonais acentuadas no regime hídrico podem impactar gravemente a fauna, a flora e as populações humanas que habitam esses ambientes.

Além disso, é esperado que nos ambientes montanos as árvores sofram estresse térmico e hidráulico devido às alterações climáticas. Isso pode levar ao aumento da respiração e à redução das taxas de crescimento que se traduzem na diminuição do sequestro de carbono (Mata-Guel *et al.*, 2023). Essa vulnerabilidade deve-se em parte à dependência das comunidades de plantas das áreas mais elevadas da água atmosférica e ao efeito de proteção do nevoeiro contra a radiação solar direta; ambos os fatores climáticos atualmente atenuam o déficit de pressão de vapor, ao qual as espécies de montanha são particularmente responsivas (Mata-Guel *et al.*, 2023). Essas mudanças na vegetação em grande escala podem aumentar ainda mais o aumento das temperaturas, alterando o efeito albedo das florestas (Doughty *et al.*, 2018) e tornando as comunidades de plantas mais suscetíveis às secas.

A mudança na cobertura florestal também interfere na capacidade de interceptação das chuvas pelo dossel, e diferentes estágios de desenvolvimento apresentam respostas distintas (Nicoletti; Refosco; Pinheiro, 2022). Em ambientes de montanha com a influência de chuva-neblina (precipitação oculta) no ciclo hidrológico, a cobertura florestal propicia a captação da água por interceptação das copas e o escorrimento pelo tronco, favorecendo a infiltração e o armazenamento de água no solo. Na ausência das copas, há redução da capacidade de interceptação e pode ocorrer o aumento do escoamento superficial (Bruijnzeel, 2005).

Os serviços ecossistêmicos no ambiente de montanha

Nesse contexto, o conceito de serviços ecossistêmicos, entendidos aqui como os benefícios (e ocasionalmente não benefícios ou perdas) que as pessoas obtêm dos ecossistemas (Ecosystem [...], 2024) é de fundamental importância, uma vez que os ecossistemas de montanha proporcionam uma série de benefícios e valores à humanidade, não só pela rica biodiversidade que contêm, mas também devido ao seu importante papel na regulação climática, no ciclo da água, além da oferta de áreas de interesse para recreação, turismo, valores culturais e espirituais (Glushkova *et al.*, 2020).

Um dos principais determinantes da vulnerabilidade dos serviços ecossistêmicos às alterações ambientais é a sua resiliência às perturbações (Angele *et al.*, 2016). Os serviços ecossistêmicos resilientes podem absorver uma quantidade substancial de perturbação e se recuperarem mais rapidamente e reagirem melhor às perturbações do que os seus homólogos de baixa resiliência (Martin *et al.*, 2019). Os serviços resilientes são caracterizados por duas propriedades complementares de suas comunidades prestadoras de serviços: redundância funcional, definida como a diversidade de espécies funcionalmente equivalentes; e diversidade de respostas, definida como a diversidade nas respostas às mudanças nas condições ambientais

dentro de uma comunidade (Scheffer *et al.*, 2001). Ou seja, a resiliência dos serviços ecossistêmicos é esperada quando espécies funcionalmente redundantes diferem nas suas respostas às alterações ambientais, de modo que algumas espécies garantam a continuação do serviço quando outras espécies são perdidas ou a sua eficiência é reduzida (Weise *et al.*, 2020). Esse conceito, se extrapolado para o recorte de paisagem, permite entender que paisagens resilientes serão aquelas em que diferentes usos e coberturas da terra provêm serviços ambientais redundantes e múltiplos. Por exemplo, uma área agrícola que adote práticas de conservação do solo e da água, como plantios mistos, por exemplo, irá contribuir para serviços relacionados à regulação hídrica, controle de erosão, sequestro de carbono, entre tantos outros, além de sua função primária que seria a produção de alimentos; por sua vez, uma área de cobertura florestal, contribui também para os serviços de regulação hídrica, controle de erosão, sequestro de carbono, além de ser fundamental para a manutenção da biodiversidade. Isso também significa que os múltiplos serviços ambientais e suas interações proporcionados pelas paisagens podem ocorrer como *trade-offs*, onde a oferta de um serviço aumenta à medida que o outro diminui, ou como sinergias, onde a oferta de dois serviços aumenta ou diminui simultaneamente (Dade *et al.*, 2019; Távora *et al.*, 2022).

DO CONCEITO À PRÁTICA – ESTUDO DE CASO EM NOVA FRIBURGO, RJ

O bioma Mata Atlântica

O bioma Mata Atlântica abrange cerca de 15% do território nacional, que engloba 72% da população brasileira, distribuída em 17 estados, abrigando, inclusive, três dos maiores centros urbanos do continente sul-americano, e concentra 70% do PIB brasileiro (SOS Mata Atlântica, 2020). É nesse bioma também que se encontra o conjunto de áreas de relevo acidentado, que podem chegar a mais de 2 mil metros de altitude, conhecidas como a Serra do Mar (Figura 1). A ocupação dessas áreas é bastante semelhante, apresentando núcleos urbanos concentrados preferencialmente nos vales, que são rodeados de regiões agrícolas, caracterizadas, geralmente, por unidades familiares de produção e fragmentos mais preservados nas cotas mais elevadas e íngremes das encostas.

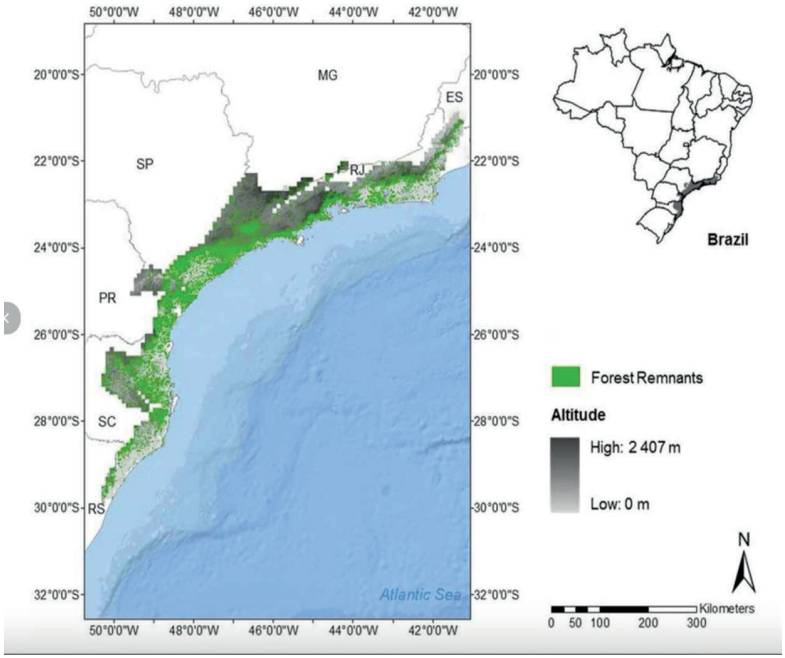


Figura 1. Localização da Serra do Mar. Fonte: Modificado a partir de Campos e Lourenço-de-Moraes (2017).

A região e município como Estudo de Caso

A Região Serrana do estado do Rio de Janeiro se localiza nesse ambiente montanhoso da Mata Atlântica, e apresenta o maior número de agricultores e o maior faturamento agrícola bruto do estado (EMATER, 2018). A maior parte desses agricultores praticam a agricultura de modo convencional e com grande dependência de insumos industriais externos à unidade de produção (Figura 2).

Nova Friburgo é um dos municípios que compõe essa região e localiza-se entre as coordenadas geográficas 22^0 19' 45" e 22^0 23' 45" de latitude sul e 42^0 35'05" e 42^0 40'10" de longitude oeste (Figura 3). Trata-se, portanto, de uma região montanhosa apresentando altitude máxima de 2.366 metros no Pico Maior, montanha que integra o conjunto denominado Três Picos. Alguns de seus bairros e distritos estão localizados a 1.000 metros ou mais e sua sede apresenta 846 metros de altitude (Comperj, 2011; MATA, 2006). O clima é tropical de altitude (Cwa), com temperatura média anual variando entre 18 ºC e 26 ºC. A precipitação média anual é de 1.279,8 mm, com os meses mais chuvosos de novembro a março e os meses mais secos de maio a agosto, marcando o período sazonal de chuvas no verão e secas no inverno (INEA, 2014; Monteiro, 2014).

Figura 2. Paisagem típica de área rural em ambiente de montanha (Nova Friburgo, RJ). Foto: Ana Paula Turetta.

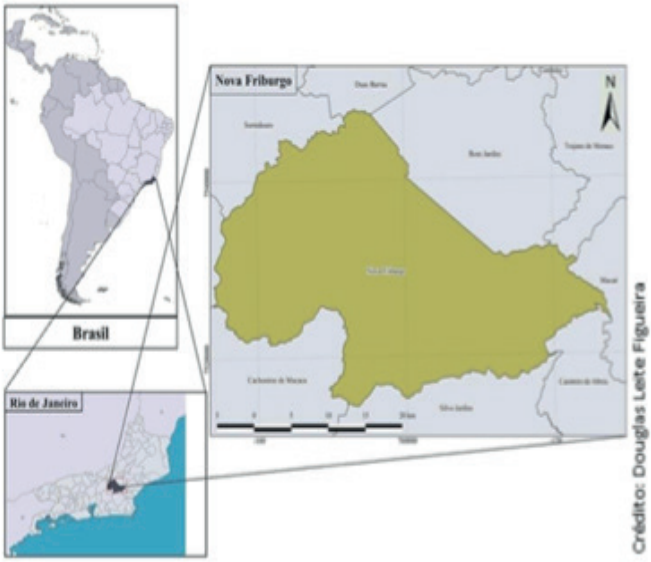


Figura 3. Localização do município de Nova Friburgo, RJ. Fonte: Douglas Figueira, cedido aos autores.

Mesmo o município sendo pioneiro na agricultura orgânica, em sua maioria, os produtores locais praticam a agricultura convencional com elevada utilização de produtos sintéticos, como fertilizantes e agrotóxicos, adotando também práticas, como o "plantio morro abaixo", que ao longo dos anos tem contribuído para processos erosivos, comprometendo a qualidade do solo e da água (Comperj, 2011; MATA, 2006).

Em 2011 a Região Serrana do Rio de Janeiro, incluindo Nova Friburgo, passou por um evento climático extremo conhecido como Megadesastre da Região Serrana Fluminense que culminou em quase 1.000 óbitos na região (Dourado, 2012). Com relação às perdas e danos na região, estimativas do Banco Mundial (2012) apontam para custos totais da ordem de R$4,78 bilhões. Dentre esses custos, aproximadamente R$3,15 bilhões correspondem ao setor público e R$1,62 bilhões às propriedades privadas. Em relação à origem dos danos, o setor habitacional foi o que registrou custos privados mais destacados (R$647 milhões). Os setores sociais foram os mais atingidos por perdas e danos, com um custo total estimado em R$2,69 bilhões. Em segundo lugar, o setor de infraestrutura foi impactado em cerca de R$1 bilhão. Os setores produtivos tiveram custos diretos e indiretos estimados em R$896 milhões, enquanto os impactos ambientais foram estimados em R$71,4 milhões, dentre perdas também em outros setores.

Segundo o Ibama (2011), as áreas que sofreram com esse evento são áreas de risco em função de sua vulnerabilidade natural geológica e de declividade acentuada, sendo agravada pelas ocupações indevidas e outros usos antrópicos. Muitas dessas áreas ocupadas são definidas como Áreas de Preservação Permanente (APP), cuja proteção está prevista no Código Florestal, Lei 12.651, de 2012 (Brasil, 2012). Em relação aos solos, as montanhas e escarpas serranas apresentam solos bastantes lixiviados, compreendendo Cambissolos Háplicos, Neossolos Litólicos e, com ocorrência menos expressiva, Latossolos Vermelho-Amarelos, em geral pouco espessos, o que acentua a vulnerabilidade e risco à ocorrência de movimentos de massa (Lumbreras *et al.*, 2003).

Nessa perspectiva, o projeto "Paisagens funcionais em tempo de mudanças climáticas: Cocriação de soluções para o desenvolvimento urbano sustentável em regiões serranas na Mata Atlântica" (CNPq 441595/2020-0) foi elaborado considerando uma solução integrada a partir da identificação dos riscos relacionados aos impactos das mudanças climáticas em paisagens múltiplas, com foco nos seus efeitos na sustentabilidade hídrica e alimentar, capaz de gerar soluções desenvolvidas de forma participativa a partir do diálogo entre múltiplos conhecimentos, especialmente em nível local.

Uma vez que os efeitos das mudanças climáticas não podem ser evitados, torna-se necessário e urgente proteger a sociedade e a natureza de seus impactos

negativos, por meio do planejamento de medidas de adaptação e de proteção dos sistemas naturais e não naturais, para que se tornem menos vulneráveis a tais eventos. Muitas são as práticas, os métodos e soluções tecnológicas de uso e manejo sustentável do solo, da água e da biodiversidade que podem reduzir a vulnerabilidade e resultar em uma paisagem mais descarbonizada e resiliente aos impactos das mudanças climáticas. Tais medidas trazem benefícios sinérgicos (ou acumulados) tanto para redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), ou seja, a mitigação das mudanças climáticas, quanto para aumento da capacidade de prevenção, resistência e recuperação dos sistemas afetados pelas mudanças climáticas, ou seja, adaptação às mudanças climáticas, contribuindo sobremaneira para a segurança alimentar e hídrica.

O uso e cobertura da terra das áreas de montanha da Mata Atlântica constituem-se como um grande mosaico composto por espaços urbanos, periurbanos e rurais, que apresentam uma diversidade de cenários políticos, sociais e culturais. Assim, é necessária uma visão integrada, ao invés de serem consideradas soluções isoladas, porque a ocorrência de um desastre natural não é um evento isolado, uma vez que influencia não só a área afetada e seu entorno, mas outras regiões, com implicações inesperadas. Por isso, para termos respostas eficazes para a adaptação às mudanças climáticas precisamos considerar essa complexidade de usos da terra e suas interações, considerando o efeito cumulativo dos eventos de precipitação.

Um conceito fundamental nesse contexto é o de multifuncionalidade da paisagem, que considera o potencial de provisão simultânea de vários serviços do ecossistema em diferentes escalas, que podem gerar vários benefícios para a sociedade. Por exemplo, uma área de produção agropecuária que adote práticas conservacionistas e diversificação de culturas, podendo incluir também o componente arbóreo no sistema, irá, além de produzir alimentos, facilitar a infiltração de água no solo e diminuir o escoamento superficial, a erosão e o assoreamento dos rios e contribuir com a biodiversidade, dentre tantos outros serviços ambientais.

Portanto, a multifuncionalidade da paisagem, não é uma propriedade do sistema ecológico, mas o resultado da interação e conexão entre sociedade e ambiente (Haynes-Young; Potschin, 2000). Ou seja, ações socioeconômicas podem alterar os elementos da paisagem (Fortunato *et al.*, 2011).

RESULTADOS PRELIMINARES DO PROJETO

Os resultados preliminares do projeto indicam alguns caminhos que podem contribuir para a adaptação aos impactos negativos das mudanças climáticas, como os eventos climáticos extremos:

- As chamadas "Soluções baseadas na natureza" (SbN), que se inspiram na natureza e fornecem simultaneamente benefícios ambientais, sociais e econômicos, com grande potencial para aumentar a resiliência de áreas mais vulneráveis a eventos climáticos de grande magnitude. Essas soluções aumentam e diversificam as características e processos naturais para as cidades, paisagens terrestres e marinhas, por meio de intervenções localmente adaptadas, eficiente em recursos e sistêmicas (European Comission, 2020; Monteiro *et al.*, 2024). O uso de SbN no planejamento das cidades tem sido aplicado no que se conhece atualmente como "cidades esponja", as quais utilizam essas estruturas para o manejo das águas pluviais de forma a promover maior infiltração, detenção, armazenamento, tratamento e drenagem (Hamidi *et al.*, 2021). Embora esse termo tenha sido proposto em 2005 e adotado em 2013 pela China, Hamidi *et al.* (2021) citam que ele se assemelha a vários conceitos bem-sucedidos de gestão sustentável de águas pluviais, alguns praticados há décadas em diferentes lugares do mundo. Exemplos desses conceitos são: Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) no Reino Unido; Design Urbano Sensível à Água (WSUD) na Austrália; *Active, Beautiful and Clean* (ABC) em Singapura; e Gestão Paisagística de Águas Pluviais na Dinamarca. No município de Nova Friburgo, destacam-se ações relacionadas à compostagem de resíduos orgânicos, organizados por grupos de pessoas – por exemplo, os "Compostonautas" – que se mobilizam na coleta e posterior retorno de material já decomposto "humus" que pode ser utilizado em jardins.
- A agricultura urbana e periurbana (AUP) que podem contribuir com o fornecimento de alimentos em períodos de crises de abastecimento e catástrofes, minimizar a insegurança alimentar, reduzir as emissões de gases de efeito estufa pela redução do transporte de alimentos e aumentar a infiltração da água das chuvas por meio do aumento de áreas permeáveis. Alguns autores argumentam, inclusive, que a AUP pode ser considerada como SbN, diante de seus benefícios multidimensionais e sua contribuição para os desafios sociais, como a redução do risco alimentar (Artmann; Sartison, 2018). No município de Nova Friburgo é realizada uma ação de aproveitamento de resíduos pela empresa Águas de Nova Friburgo (Fidalgo *et al.*, 2023). Parte do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da cidade é enviada para compostagem e transformada em um fertilizante orgânico que poderá ser destinado à recuperação de áreas degradadas, manutenção de jardins e áreas verdes e plantio de árvores, com uma expectativa de produzir 360 toneladas ao ano (Águas [...], 2021), o que pode representar um incentivo ao desenvolvimento da AUP no município e uma iniciativa que pode inspirar os municípios vizinhos a se movimentarem na mesma direção.

- A adoção de práticas agrícolas que promovam o aumento e manutenção da matéria orgânica do solo e controle da erosão, sistemas integrados de produção, zoneamento para identificação de áreas adequadas para agropecuária e melhorias genéticas para tolerância ao calor e à seca podem reduzir os impactos negativos das mudanças climáticas e promover a adaptação dos sistemas de produção e contribuir para a segurança alimentar (Mbow *et al.*, 2019).
- A segurança hídrica e alimentar estão fortemente interligadas, uma vez que períodos de longa estiagem e eventos pluviométricos de grande magnitude, afetam não apenas as quantidades, mas também a qualidade, a variedade e a disponibilidade sazonal dos alimentos que podem ser produzidos e consumidos. Além disso, as restrições hídricas podem levar os produtores agrícolas a utilizarem fontes de água poluídas que podem então comprometer ou contaminar o abastecimento de alimentos (Michel, 2023).

A importância da adoção de processos participativos relacionados à adaptação às mudanças climáticas, considerando os potenciais benefícios gerados a partir de processos participativos podem ser organizados com base no que são e para quem são relevantes (Bryson *et al.*, 2012; Irvin; Stansbury, 2004; Mandarano, 2008). Entre os principais benefícios da adoção de processos participativos (Prutsch *et al.*, 2018) destaca-se o aumento da conscientização para a necessidade de adaptação às mudanças climáticas e cocriação de ações de adaptação entre as partes interessadas; a prevenção de conflitos pela construção de um espaço para discutir as opiniões e experiências, necessidades e preferências, conflitos e soluções potenciais; melhorar a efetividade de políticas públicas baseadas no conhecimento articulado pelas partes interessadas; e, por fim, aumentar a legitimidade, aceitação e conformidade com as ações propostas e compromisso com sua implementação.

A presença da cobertura florestal pode contribuir para a resiliência dos ecossistemas e do meio urbano. No entanto, o estágio de desenvolvimento e a localização espacial determinam o potencial de resposta da interceptação às chuvas de alta intensidade. Dessa forma, a presença de fragmentos de remanescentes florestais na paisagem e a vegetação localizada em APP não devem ser considerados suficientes para garantir o benefício das florestas em ambiente de montanha à segurança hídrica.

CONCLUSÕES

Os impactos das mudanças climáticas incluem aumento na precipitação extrema e temperatura, ocorrência de inundações e seca que podem afetar a sociedade de maneira sem precedentes, especialmente no que se relaciona à segurança hídrica e alimentar. Tais impactos representam um sério desafio para o desenvolvimento

sustentável e expõe a necessidade de soluções adequadas a cada realidade para a sua adaptação. Estar preparado para enfrentar esse cenário significa adaptar os sistemas para que se tornem resilientes e otimizados, de forma que continuem a fornecer serviços ecossistêmicos a todos os estratos da sociedade.

Além disso, as mudanças climáticas interagem com fatores socioeconômicos, físicos, ecológicos e políticos e extrapolam os limites do espaço urbano e rural. A interação desses fatores definirá o risco dos diferentes ambientes aos impactos dessas mudanças em diferentes escalas, tanto no contexto de áreas privadas quanto públicas. Isso desafia a apresentação de soluções factíveis à adaptação das cidades e a governança desse processo na divisão de responsabilidades entre governo e sociedade. Soluções restritas a determinados espaços sem considerar o seu entorno não são suficientes, uma vez que as paisagens são compostas por um complexo mosaico de usos diversos que interagem entre si o tempo todo. Em ambientes de montanha, que são extremamente expostos aos impactos das mudanças climáticas, tais interações fazem ainda mais sentido.

Assim, considera-se que um arranjo entre boas práticas de manejo do solo, conservação de áreas vulneráveis e respeito à capacidade de uso do solo, com a popularização de SbN, podem contribuir para a manutenção do provimento de serviços ecossistêmicos e para a resiliência aos eventos extremos e mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

A todos os parceiros e colaboradores do projeto. Ao CNPq pelo apoio financeiro do projeto 441595/2020-0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUAS DE NOVA FRIBURGO. **Águas de Nova Friburgo destina lodo gerado no sistema de tratamento de esgoto para compostagem**. 15 jun. 2021. Disponível em: https://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-novafriburgo/aguas-de-nova-friburgodestina-lodo-gerado-no-sistema-de-tratamento-de-esgoto-para-compostagem/. Acesso em: 17 out. 2023.

ANGELE, D. G.; GARMESTANI, A. S.; ALLEN, C. R.; PANARCHY, R. G. C. **Resource Guide on Resilience**. Lausanne: EPFL International Risk Governance Center. v29-07- 201. 2016 Disponível em: https://core.ac.uk/reader/148030420#page=22

ARTMANN, M.; SARTISON, K. The role of urban agriculture as a nature-based solution: a review for developing a systemic assessment framework. **Sustainability**, 10, 1937, 2018. doi:10.3390/su10061937

BANCO MUNDIAL. **Avaliação de perdas e danos**: inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro. Brasília: Banco Mundial, 2012.

BONELL, M.; BRUIJNZEEL, L. A. **Forests, Water and People in the Humid Tropics**. Ed. Published by Cambridge University Press.

BRASIL. **Lei 12.651/2012**. Código Florestal Brasileiro. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 23 maio 2024.

BRUIJNZEEL, L. A. C. **Tropical montane cloud forest**: a unique hydrological case1. Chapter 18. UNESCO, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands. 2005. Disponível em: http://hydrology-amsterdam.nl/personalpages/Sampurno/Bruijnzeel_2005_CUP_Ch18_TMCF.pdf

BRYSON, J. M.; QUICK, K. S.; SLOTTERBACK, C.; CROSBY, B. C. Designing public participation processes. **Public Adm. Rev**. 73:23-34. 2012. doi:10. 1111/j.1540-6210.2012.02678.x

CAMPOS, F. S.; LOURENÇO-DE-MORAES, R. Anurans from Mountain chain Serra do Mar: a critical area for amphibian conservation in the Atlantic Forest, Brazil. **Herpetology Notes**, vol. 10. 2017.

COMPERJ. **Agenda 21 de Nova Friburgo**. Rio de Janeiro, 2011, 178 p.

DADE, M. C.; MITCHELL, M. G. E.; MCALPINE, C. A.; RHODES, J. R. Assessing ecosystem service trade-offs and synergies: The need for a more mechanistic approach. **Ambio**, 48, p. 1116-1128. 2019.

DOUGHTY, C. E.; SANTOS-ANDRADE, P. E.; SHENKIN, A.; GOLDSMITH, G. R.; BENTLEY, L. P.; BLONDER, B.; **DÍAZ, S.**; SALINAS, N.; ENQUIST, B. J.; MARTIN, R. E.; ASNER, G. P.; MALHI, Y. Tropical forest leaves may darken in response to climate change. **Nature Ecology & Evolution** 2, 1918-1924. 2018.

DOURADO, F. *et al.* O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro: as causas do evento, os mecanismos dos movimentos de massa e a distribuição espacial dos investimentos de reconstrução no pós-desastre. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 43-54. 2012.

ECOSYSTEM service. *In:* IPBES. **Glossary. Bonn**, 2024. Disponível em: https://www.ipbes.net/node/41069#:~:text=A%20service%20that%20is%20provided,that%20people%20obtain%20from%20ecosystems. Acesso em: 29 maio 2024.

EMATER. **Relatório por municípios do sistema ASPA/AGROGEO - ano 2018**. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: http://www.emater.rj.gov.br/images/munic2018.htm Acesso em: 17 jun. 2019.

EUROPEAN COMMISSION. **Nature-based solutions**. 2020. Disponível em: https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs. Acesso em: 25 ago. 2020.

FIDALGO, E. C. C. *et al.* **O papel da agricultura urbana como promotora da resiliência socioeconômica e ambiental das cidades**: destaque ao município de Nova Friburgo, RJ. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023. PDF (27 p.). – (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 239). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1158240/1/CNPS-DOC-239-2023.pdf Acesso em: 20 jun. 2024.

FORTUNATO, I.; BASTIDAS, J.; DO COUTO BARBOSA, J. E.; DE LIMA-GUIMARÃES, S. T. Multifuncionalidade e consumismo na paisagem do centro de São Paulo. **Cadernos de Geografia**, vol. 21, nº. 35 janeiro-junho, 2011. p. 31-55 Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brasil.

GLUSHKOVA, M.; ZHIYANSKI, M.; NEDKOV, S.; YANEVA, R.; STOEVA, L. Ecosystem services from mountain forest ecosystems: conceptual framework, approach and challenges. **Silva Balcanica**. 21. 47-68. 2020. 10.3897/silvabalcanica.21.e54628

HAMIDI, A.; RAMAVANDI, B.; SORIAL, G. A. Sponge City – An emerging concept in sustainable water resource management: a scientometric analysis. **Resources, Environment and Sustainability**, vol. 5, p.100028, 2021. https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100028

HAYNES-YOUNG, R. H.; POTSCHIN, M. B. Multifuncionality and value. *In:* BRANDT, J.; TRESS, B.; TRESS, G. **Muntifunctional landscapes**: Interdisciplinary approaches to landscape research and management. Roskild, Denmark: Centre for Landscape Research, 2000. 2000. p.11-118.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro** / Wigold Bertoldo Schäffer... *et al.* – Brasília: MMA, 2011. 96 p. il. color. 29 cm. + mapas. (Série Biodiversidade, 41).

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **APA Estadual de Macaé de Cima**: plano de manejo – análise da UC. Rio de Janeiro: Inea, 2014. 314 p.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. *In:* **Climate Change 2023**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

IRVIN, R. A.; STANSBURY, J. Citizen participation in decision making: is it worth the effort? **Public Adm Rev** 64:55-65. 2004. doi:10.1111/j.1540- 6210.2004.00346.x

LUMBRERAS, J. F. ... *et al.* **Zoneamento agroecológico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 113 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 33). Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/338523/zoneamento-agroecologico-do-estado-do-rio-de-janeiro---ano-2003 Acesso em: 20 jun. 2024.

MANDARANO, L. A. Evaluating collaborative environmental planning outputs and outcomes restoring and protecting habitat and the New York–New Jersey Harbor Estuary Program. **J Plan Educ Res** 27: 456-468. 2008. doi:10.1177/0739456X08315888

MARTIN, E. A.; FEIT, B.; REQUIER, F.; FRIBERG, H.; JONSSON, M. Assessing the resilience of biodiversity driven functions in agroecosystems under environmental change. *In:* **Advances in Ecological Research**. Elsevier, pp. 59-123. 2019. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2019.02.003

MATA, A. P. **Legislação ambiental e uso atual do solo**: o caso da microbacia do córrego de São Lourenço – Nova Friburgo, RJ. Niterói. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, 2006.

MATA-GUEL, E. O.; SOH, M. C. K.; BUTLER, C. W.; MORRIS, R. J.; RAZGOUR, O.; PEH, K. S. H. Impacts of anthropogenic climate change on tropical montane forests: an appraisal of the evidence 2023. **Biol Rev**, 98: 1200-1224. https://doi.org/10.1111/brv.12950

MBOW, C. C.; ROSENZWEIG, L. G.; BARIONI, T. G.; BENTON, M.; HERRERO, M.; KRISHNAPILLAI, E.; LIWENGA, P.; PRA DHAN, M. G.; RIVERA-FERRE, T.; SAPKOTA, F. N.; TUBIELLO, Y. XU; FOOD SECURITY. *IN:* SHUKLA, P. R.; SKEA; CALVO BUENDIA, J. E.; MASSON-DELMOTTE, V. H. O.; **PÖRTNER, D.** C.; ROBERTS, P.; ZHAI, R.; SLADE, S.; CONNORS, R.; VAN DIEMEN, M.; FERRAT, E.; HAUGHEY, S.; LUZ, S.; NEOGI, M.; PATHAK, J.; PETZOLD, J.; PORTUGAL PEREIRA, P.; VYAS, E.; HUNTLEY, K.; KISSICK, M.; BELKACEMI, J. MALLEY (eds.) **Climate Change and Land**: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. In press. 2019.

MICHEL, D. **Water and Food**: How, When, and Why Water Imperils Global Food Security. CSIS - Centre for Strategic and International Studies. 2023. Disponível em: https://www.csis.org/analysis/water-and-food-how-when-and-why-water-imperils-global-food-security. Acesso em: 21 maio 2024.

MONTEIRO, J. M. G. **Lições aprendidas sobre como enfrentar os efeitos de eventos hidrometeorológicos extremos em sistemas agrícolas**. Nova Friburgo, 2014.

MONTEIRO, J. M. G.; FIDALGO, E. C. C.; TURETTA, A. P. D. Prior indication of agricultural Nature-Based Solutions (NbS) for water and food security in the context of climate change. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER ENERGY FOOD AND SUSTAINABILITY, 3., 2023, Leiria. **Proceedings** [...]. Cham: Springer, 2024. p. 677-688. ICoWEFS 2023. 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48532-9_630

NICOLETTI, A. L.; REFOSCO, J. C.; PINHEIRO, A. Interceptação e escoamento superficial em diferentes estágios de regeneração da Floresta Atlântica, sul do Brasil. **Ciência Florestal**, 32(4), 2113–2135. 2022. https://doi.org/10.5902/1980509866884

PRUTSCH, A.; STEURER, R.; STICKLER, T. Is the participatory formulation of policy strategies worth the effort? The case of climate change adaptation in Austria. **Reg Environ Change** 18:271-285. 2018. DOI 10.1007/s10113-017-1204-7

SCHEFFER, M.; CARPENTER, S.; FOLEY, J. A.; FOLKE, C.; WALKER, B. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature**, 413, 591-596. 2001.

SLAYMAKER, O.; EMBLETON-HAMANN, C. Advances in global mountain geomorphology. **Geomorphology**, Vol. 308, 2018, Pages 230-264, https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.02.016

SOS Mata Atlântica. **Casa da maioria dos brasileiros**. São Paulo: Fundação SOS Pro-Mata Atlântica; 2020 [citado 2020 Jan 22]. Available from: https://www.sosma.org.br/causas/mata-atlantica/

TÁVORA, G. S. G.; TURETTA, A. P. D.; DA SILVA, A. S.; SIMÕES, B. F. T.; NEHREN, U. Trade-offs and synergies in agricultural landscapes: A study on soil-related ecosystem services in the Brazilian Atlantic rainforest. **Environmental and Sustainability Indicators**, Vol. 16, 2022, https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100205

WEISE, H. *et al.* Resilience trinity: safeguarding ecosystem functioning and services across three different time horizons and decision contexts. **Oikos**, 129, 445-456 (2020).

SEGUNDA PARTE

PRÁTICAS DE MANEJO PARA PRESERVAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DO SOLO

CAPÍTULO 3

MANEJO DE CAFEEIROS EM AMBIENTES MONTANHOSOS

Eduardo S. Mendonça
Professor Titular
Departamento de Agronomia
Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre

Irene M. Cardoso
Professora Titular
Departamento de Solos
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Minas Gerais

INTRODUÇÃO

Grande parte da produção brasileira de café localiza-se em áreas montanhosas, e em sistemas de produção familiares. Essas áreas estão localizadas principalmente no Domínio Morfoclimático dos Mares de Morros, no bioma Mata Atlântica (Figura 1). Regiões montanhosas favorecem a produção cafeeira devido às temperaturas amenas e o sombreamento da lavoura em parte do dia.

Figura 1. Domínio morfoclimático de Mar de Morro no bioma Mata Atlântica.

Embora declivosa, essas regiões de Mares de Morros não possuem pedregosidade elevada devido à evolução da paisagem. Entretanto, os solos da região apresentam grande variabilidade indicada, quase sempre, pelo relevo. Nas elevações há predomínio das pedoformas convexas, mas há ocorrência também das pedoformas côncavas. Especialmente nas áreas convexas das encostas, os solos possuem profundidade efetiva em torno de 150 cm, o que favorece a cultura cafeeira. Esses solos são bem estruturados, reduzindo riscos de erosão. Essas condições permitem bom desenvolvimento radicular, alta condutividade hidráulica e grande armazenamento de água no solo. Entretanto, em algumas localidades, há solos rasos e pedregosos, pedologicamente jovens e com estrutura incipiente ou solos com grande diferença granulométrica entre as camadas superficial e subsuperficial. Nessas condições, o desenvolvimento radicular e a taxa de infiltração de água diminuem e o risco de erosão aumenta e, portanto, o uso do solo exige mais cautela.

Contudo, mesmo que as condições pedológicas favoreçam o cultivo do cafeeiro, os solos da região são sujeitos à erosão hídrica, especialmente laminar, o que eleva a possibilidade de degradação do solo e a redução da produção cafeeira devido ao uso inadequado. Para evitar tais problemas há necessidade de um bom planejamento no manejo da cultura, considerando a aptidão agrícola da região e ações que mantenham ou mesmo melhorem a qualidade do solo. Para tal, é importante avaliar alguns aspectos ambientais, como características do clima (temperatura e precipitação), relevo (declividade e conformidade) e solo.

Quanto ao clima, em geral, a região montanhosa brasileira apresenta quantidades de chuvas suficientes para o cultivo do cafeeiro, em especial *Coffea arabica*, sem a necessidade de irrigação. Contudo, as chuvas, principalmente de verão, apresentam alta erosividade, sendo fundamental manter o solo coberto. Quanto à temperatura, o conhecimento de sua dinâmica ajuda a definir estratégias agroecológicas (sombreamento do cafeeiro com árvores ou arbustos) para reduzir sua variação ou mitigar sua elevação, em cenários de mudanças climáticas.

A dinâmica do relevo na região também é importante. Devemos conhecer a face de exposição ao Sol e a intensidade solar nas estações do ano e se o relevo favorece a concentração de água (relevo côncavo) ou sua dispersão (relevo convexo). Conhecendo a face de exposição ao Sol podemos planejar o consórcio do cafeeiro com árvores e arbustos, controlando a taxa de sombreamento da cultura (Figura 2). Quanto à dinâmica da água, o relevo côncavo pode favorecer a erosão em sulcos e voçorocas e a presença de nascentes na parte baixa do declive. O relevo convexo reduz a possibilidade de erosão em sulcos e voçorocas e a incidência de nascentes na parte baixa da paisagem. Com essas informações e conhecendo a distribuição de chuvas, define-se a necessidade ou não de irrigação ou da execução de práticas de manejo que proporcionem maior infiltração de água e maior umidade do solo. A combinação tipo de solo e declividade define a suscetibilidade do solo à erosão hídrica e à mecanização agrícola.

Figura 2. Sistemas produtivos de café consorciados com árvores e arbustos em propriedades familiares.

A dificuldade de mecanização dessas áreas, devido à declividade (relevo forte-ondulado a montanhoso), reduz o interesse de grandes empresários por elas, o que leva ao uso principalmente pela agricultura familiar. A agricultura familiar não mecanizada favorece manejos mais conservacionistas, mesmo assim, é importante manter o terço superior das encostas destinado à preservação.

POTENCIALIZANDO A PRODUÇÃO CAFEEIRA NA REGIÃO DE MONTANHA

O manejo agrícola sustentável do solo engloba três conjuntos básicos de práticas: edáficas, vegetativas e mecânicas. As práticas edáficas estão, principalmente, ligadas à potencialização da fertilidade do solo. O conceito de fertilidade do solo não se refere apenas à disponibilidade de nutrientes para as plantas, mas também às condições propícias para a movimentação de água e ar e à atividade e diversidade biológica. Nas regiões tropicais e subtropicais de montanha os solos predominantes são muito intemperizados e apresentam capacidade de troca catiônica e saturação de bases baixas, e acidez ativa e trocável altas. Nessas condições, a manutenção da matéria orgânica do solo é fundamental, pois além dela estar ligada à capacidade de troca de cátions e ao tamponamento da acidez, ela contribui para a retenção de água e, principalmente, para a atividade e diversidade biológica do solo (Silva *et al.*, 2018). Nas condições tropicais, a fertilidade do solo possui estreita associação com a dinâmica da vida do solo, pois esta, dentre outros benefícios, promove a ciclagem de nutrientes.

Para a manutenção da vida do solo é preciso utilizar práticas agroecológicas que potencializem a disponibilidade local de biomassa e diminua o uso de insumos externos à propriedade rural. Essas práticas melhoram a qualidade do solo e a produção cafeeira, além de reduzir os custos de produção. A melhoria da qualidade do solo potencializa os mecanismos biológicos, a exemplo das associações de bactérias e fungos com as raízes das plantas, e a ação enzimática que transforma formas orgânicas de P e N em formas inorgânicas e aumentam a interação entre as raízes das plantas (Silva *et al.*, 2018). Considerando as elevadas taxas de decomposição dos materiais orgânicos nas condições tropicais, o aporte orgânico deve ser constante, prática que também ameniza a dificuldade de sincronizar a disponibilização de nutrientes no solo e sua absorção pelo cafeeiro.

Para a produção constante de biomassa pode-se utilizar material vegetal e, quando possível, estercos animais. Para a produção vegetal pode-se utilizar adubos verdes herbáceos (ex. crotalária, feijão de porco, mucuna, lablab e a própria vegetação espontânea) e sistemas agroflorestais. Nestes o cafeeiro é consorciado com árvores e arbustos, em desenhos diversos, como renques de leguminosas (ex. leucena, gliricídia e ingá) (Figura 3). Essas plantas e seus resíduos ajudam na proteção do solo contra os impactos das gotas de chuvas e o excesso de radiação solar. Os consórcios com árvores ajudam ainda no sombreamento dos cafeeiros, o que melhora em especial a qualidade do café. Além da diversidade de plantas na lavoura, a maior diversidade de plantas no entorno da área beneficia o cafeeiro de várias formas, como, por exemplo, aumentando o controle biológico de pragas e doenças.

Figura 3. Sistema de produção de café consorciado com gliricídia.

Para o consórcio de plantas com o cafeeiro, devemos considerar a adaptação das mesmas às condições climáticas e de solo da região, e sua compatibilidade com o cafeeiro. Conhecer a composição bioquímica média (teor de celulose, hemicelulose, lignina, polifenóis solúveis etc.) e de nutrientes (teor de C, N, P, K, Ca etc.) das plantas também é importante para planejar a dinâmica dos resíduos dessas plantas no solo. Com essas informações, com as análises de solo e a estimativa de produção cafeeira, pode-se planejar o manejo da adubação.

Nas regiões montanhosas, além das práticas edáficas e vegetativas, na maioria das vezes, deve-se recorrer também a práticas mecânicas, como carreadores, terraços e caixas secas (Figura 4). Os carreadores, são ruas no meio da plantação que servem para o deslocamento dos trabalhadores, máquinas, material em geral e a colheita. Se bem planejados, podem facilitar o escoamento do excesso de água da área para um local de escape, para promover sua infiltração no solo e diminuir a velocidade de escoamento da água na área de produção. Os terraços são estruturas construídas entre as linhas ou um conjunto de linhas, dependendo do planejamento, do cafeeiro com o objetivo de cortar o declive e favorecer a infiltração da água na área de plantio. As caixas secas também são construídas transversalmente ao declive com o objetivo de segurar o excesso de água do escorrimento superficial e favorecer sua infiltração no solo. Essas práticas controlam a erosão, reduzem os custos de produção, aumentam a disponibilidade de água na área de cultivo e nas nascentes, e aumentam a produtividade da lavoura. Os terraços, principalmente os do tipo patamar, além de controlarem a dinâmica de água na lavoura, podem ser utilizados como ruas para a circulação de máquinas e pessoas na lavoura (Matiello, 2019).

Figura 4. Carreadores, terraços e caixa seca reduzindo o comprimento de rampa em sistemas de produção cafeeira.

COMENTÁRIOS FINAIS

A produção cafeeira agroecológica em regiões montanhosas pressupõe o uso integrado de várias práticas edáficas, vegetativas e mecânicas que irá aumentar a infiltração de água no solo, diminuir a erosão hídrica e estimular a ciclagem de nutrientes. Como consequência haverá melhoria da qualidade do solo, aumento da água, da biodiversidade, do rendimento agrícola e da longevidade da lavoura e a diminuição dos custos de produção de café.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MATIELLO, J. B. **Tecnologia de microterraceamento em cafezais evolui bastante.** Disponível em: Procafé: https://www.noticiasagricolas.com.br. Acesso em: 28 jun. 2021.

SILVA, V. M.; TAVARES, R. C.; SANTOS JUNIOR, H. J. G.; MENDONÇA, E. S. Biologia do solo: construindo a fertilidade dos solos velhos, lixiviados, pobres e malfadados dos trópicos. *In:* CARDOSO, I. M.; Favero, C. (Eds.) **Solos e Agroecologia**. Brasília, DF, Embrapa, 61-100 p. 2018.

CAPÍTULO 4

USO DOS SOLOS EM AMBIENTES DE MONTANHA NA AMAZÔNIA: O CASO DA AGRICULTURA INDÍGENA NO NORTE DE RORAIMA

Valdinar Ferreira Melo
Professor Titular
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR

Vera Lucy Brandão
Engenheira Agrônoma
Indígena Macuxi
Produtora na Serra de Pacaraima

Sandra Cátia Pereira Uchôa
Professora Titular
Universidade Federal de Roraima
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR

Carlos Ernesto G. R. Schaefer
Professor Titular
Departamento de Solos
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Minas Gerais

Joaquim Parimé Pereira Lima
Engenheiro Agrônomo
Mestre em Agroecologia Ibama-Roraima, Boa Vista, RR

Maurício Lourezoni Augusti
Engenheiro Agrônomo
Mestre em Agronomia
Doutorando do POSAGRO.
Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR

INTRODUÇÃO

O estado de Roraima possui a maior complexidade de ambientes e ecossistemas da Amazônia brasileira, devido à forte heterogeneidade de relevos e litologias, decorrentes de uma evolução geológica muito antiga e polifásica, com pulsos de atividade tectônica muito intensos, e grandes variações climáticas ao longo de sua história (Schaefer; Dalrymple, 1995). O estado possui, portanto, um quadro natural único e privilegiado na Amazônia brasileira, em que se combinam a referida heterogeneidade ambiental e uma elevada sociodiversidade, tornando Roraima um cenário ideal para estudos nos diversos campos da ciência (Melo *et al.*, 2010a; Melo *et al.*, 2010b; Vale Júnior, 2000; Vale Júnior; Leitão Sousa, 2005; Vale Júnior *et al.*, 2007). A adaptação humana em Roraima foi, e ainda é muito influenciada pela heterogeneidade ambiental, e as formas de uso da terra são profundamente vinculadas a essa condição.

Localizado na parte mais setentrional da Amazônia brasileira, Roraima possui a maior variação topográfica e geomorfológica de toda Amazônia, com terrenos que apresentam desde superfícies muito baixas e planas (com menos de 60 metros de altitude no Baixo Rio Branco), até relevos montanhosos complexos, que variam de 400 a mais de 2.800 metros de altitude no extremo norte roraimense. No extremo norte do estado, fazendo fronteira com a Venezuela e a República da Guiana, o complexo de serras e vales intermontanos elevados é formado pelas unidades morfoestruturais denominadas Planalto do Interflúvio Amazonas-Orenoco e do Planalto Sedimentar Roraima, compostos pelos alinhamentos das serras: Parima/Urutanin, Pacaraima, Memória, Manari, Sol e do Roraima, constituídas por diferentes substratos geológicos. Ocorrem predominantemente metarenitos, rochas vulcânicas ácidas e granitos, em que se desenvolvem solos das classes Neossolos Litólicos, Cambissolos e Argissolos, em geral, de muito baixa fertilidade natural e rasos e pedregosos (Brasil, 1975; Schaefer; Dalrymple, 1995). Em algumas áreas, nas serras Pacaraima, e próxima ao Uiramutã, ocorrem extensos afloramentos de rochas intrusivas máficas, como diabásio e basaltos, com predomínio de solos eutróficos, como Cambissolos Vérticos, Argissolos Vermelhos, Nitossolo Vermelho e Chernossolo (Figuras 1A e 1B) (Melo *et al.*, 2010a; Melo *et al.*, 2005; Schaefer *et al.*, 1993). A cobertura vegetal desses ambientes se apresenta num gradiente altimétrico da zona mais elevada à mais rebaixada: campos rupestres em refúgios; floresta aberta montana; floresta estacional; transição savana-floresta estacional; e savana estépica (Schaefer; Dalrymple, 1996).

Esses ambientes, além da diversidade nos aspectos físicos e de vegetação, são ocupados por grupos heterogêneos de povos indígenas compostos pelas etnias Macuxi, Taurepang, Wapixana e Patamona, parcialmente integrados aos sistemas de vida moderna, mas que mantêm costumes próprios e tradicionais (Schaefer *et al.*, 2018; Amodio; Pira, 1985).

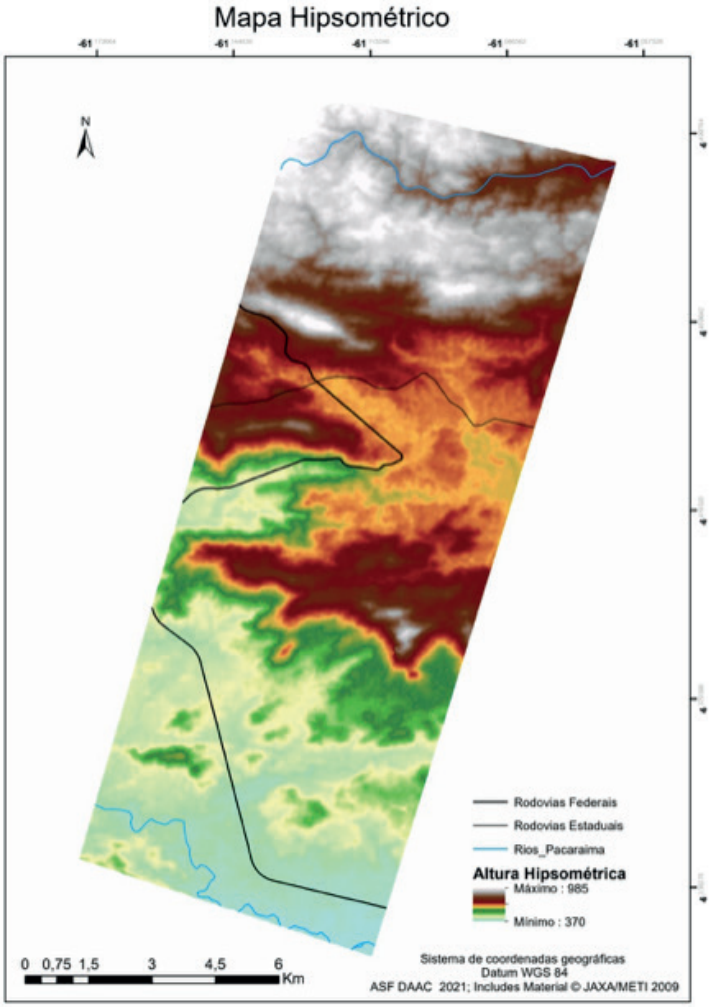


Figura 1A. Mapa hipsométrico da região norte do estado de Roraima, destacando-se a região de Pacaraima na fronteira com a Venezuela.

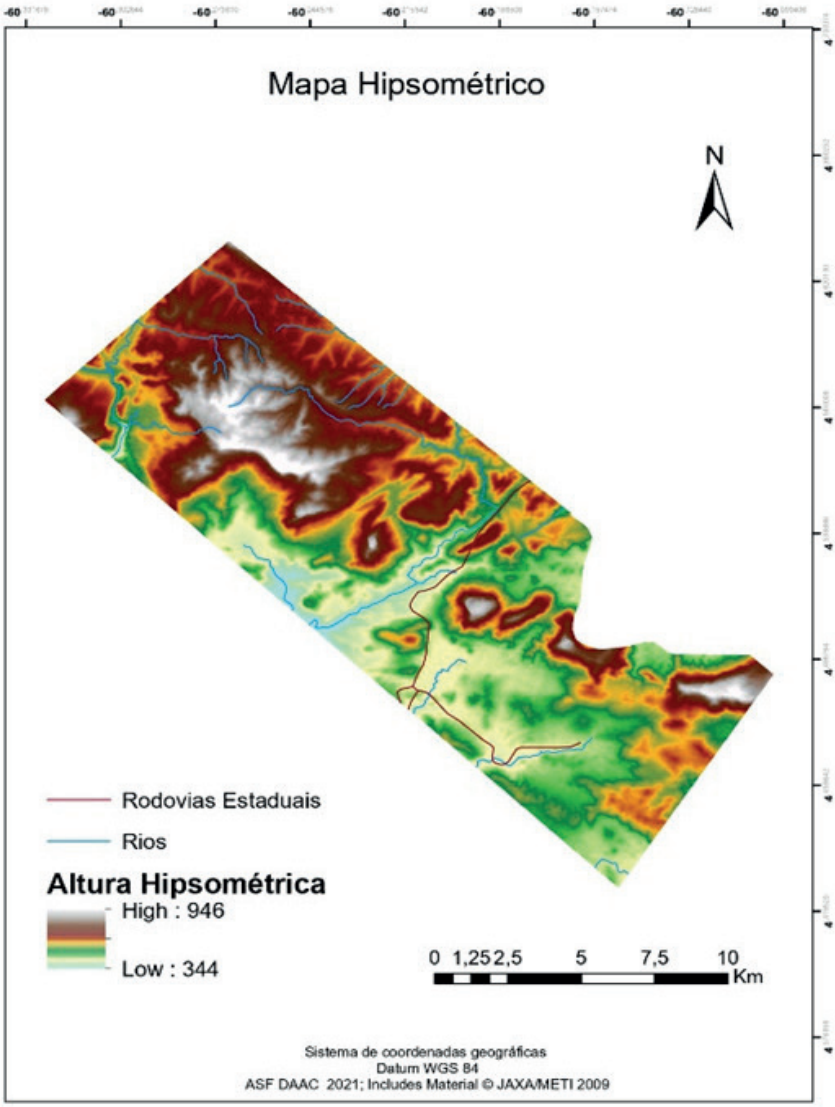


Figura1B. Mapa hipsométrico da região nordeste do estado de Roraima, destacando-se a região de Uiramutã na fronteira com a República da Guiana.

ARCABOUÇO AMBIENTAL DAS SERRAS DO NORTE DE RORAIMA

Na fronteira Brasil/Venezuela/Guiana (norte e nordeste do estado) é formada duas unidades morfoestruturais, denominadas de planalto sedimentar Roraima e Planalto do interflúvio Amazonas-Orinoco. Os quais são de domínios morfoclimáticos tabulares e esculpidos em rochas sedimentares do grupo Roraima, vulcânicas ácidas da Formação Surumu (dacitos e riodacitos) e básicas da Formação Avanavero (diabásio, diorito e gabro) (Pinheiro, 1990; Schaefer ***et al.***, 2018).

Na Serra de Pacaraima, constituída por rochas vulcânicas ácidas, e vegetação do tipo floresta estacional, floresta de montana e contato floresta/savana, ocorrem solos ácidos e pobres, com predomínio de Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelho-Amarelo, e alguma ocorrência de Latossolo Vermelho-Amarelo (Vale Júnior, 2000) (Tabelas 1 e 2). As principais limitações de uso agrícola desses solos decorrem da forte susceptibilidade à erosão, devido ao relevo acidentado, e muito baixa fertilidade dos solos e elevados teores de alumínio trocável (Figuras 2A e 2B) e Figura 3.

Por outro lado, um cenário muito contrastante de ambiente serrano ocorre na região do Uiramutã, compreendendo as comunidades macuxis (Flechal, Socó e Macaranã), com extensa faixa de afloramentos de rochas máficas (diabásio do sill pedra preta), revelando solos com fertilidade natural elevada (Tabelas 3 e 4), que podem suportar uma maior pressão de uso por período mais prolongado, comparado aos demais solos do complexo serrano do norte da Amazônia (Melo ***et al.***, 2010a). Contudo, outras limitações, como: baixos teores de fósforo disponível, forte declividade, presença de matacões e baixa profundidade (solos rasos), impondo restrições ao pastoreio intensivo e uso agrícola mecanizado e mais intensivo (Figuras 2A e 2B).

Figura 2A. Relevo acidentado da Serra de Pacaraima.

Figura 2B. Área de implantação de sistema agroflorestal, após sistema de cultivo com derruba e queima, na comunidade do Kauwê.

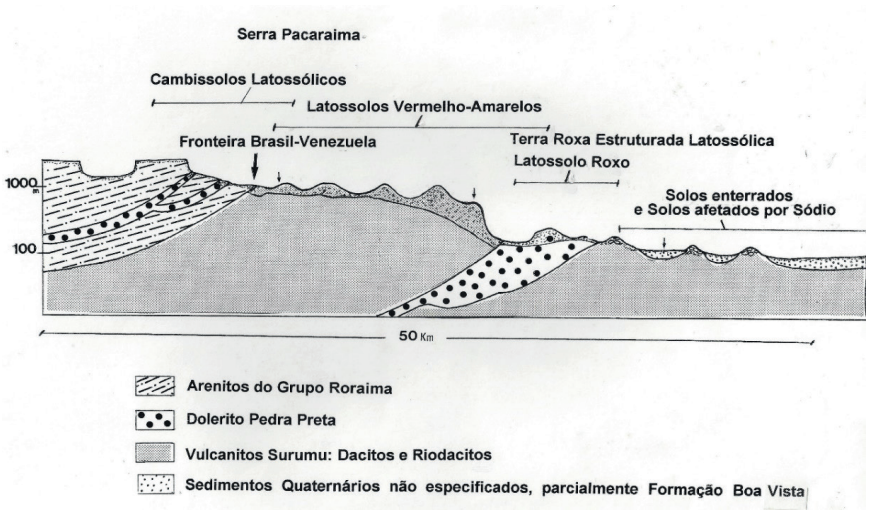


Figura 3. Transecto da Serra de Pacaraima, ilustrando solos, relevo, vegetação e concentração de malocas mescladas de Macuxi, Taurepang e raros Wapixana.

Tabela 1. Cambissolo Háplico Distrófico textura argilosa

Horizonte		Granulometria (g kg^{-1})			P	C	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	S	H^{+}	Al^{3+}	CTC	V	m
Simb.	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	----------	----------	----------	----------	----------	cmol$_c$ kg^{-1}	----------	----------	----------	---%---	
A1	0-15	30	490	480	1,41	29,4	3,5	0,37	0,37	0,23	0,03	1,01	8,44	7,40	16,85	6	87
BA	15-35	20	490	490	0,52	14,0	3,5	0,14	0,14	0,15	0,01	0,40	4,87	8,00	13,27	3	95
Bi	35-70	10	450	540	0,19	8,2	3,6	0,08	0,08	0,06	0,02	0,20	3,48	8,40	12,08	2	97
BC	70-100	20	430	550	<0,11	4,4	4,1	0,04	0,04	0,04	0,03	0,14	2,17	7,40	9,71	2	99

Fonte: Brasil (1975).

Tabela 2. Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico cambissólico, textura argilosa

Horizonte		Granulometria (g kg^{-1})			P	C	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	S	H^{+}	Al^{3+}	CTC	V	m
Simb.	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	mg kg^{-1}	g kg^{-1}	----------	----------	----------	----------	----------	cmol$_c$ kg^{-1}	----------	----------	----------	---%---	
A	0-8	60	460	480	13,10	3,35	3,8	1,60	0,60	0,47	0,03	2,70	4,6	0,8	8,10	33	22
AB	9-16	60	420	520	2,2	1,98	3,8	0,20	0,10	0,20	0,02	0,52	2,7	2,1	5,32	10	80
Bw1	16-40	100	520	380	1,0	1,55	4,1	0,00	0,10	0,08	0,02	0,20	1,4	1,9	3,50	6	90
Bw2	40-900	90	520	390	0,5	0,38	4,5	0,10	0,10	0,02	0,03	0,25	1,4	1,9	3,55	7	88

Fonte: Vale Júnior (2000).

Tabela 3. Cambissolo Háplico Tb eutrófico

Horizonte		Granulometria (g kg^{-1})			P	C	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	S	H^{+}	Al^{3+}	CTC	V	m
Simb.	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	mg kg^{-1}	g kg^{-1}		----------cmol$_c$ kg^{-1}----------								---%---	
Ap	0-30	370	280	350	1,22	19,3	6,5	6,75	0,37	0,04	0,07	7,23	3,24	0,0	10,63	69	0
Bi1	30-83	400	310	290	1,26	5,9	7,3	7,44	0,46	0,03	0,08	8,01	1,48	0,0	9,49	84	0
Bi2	83-111	250	370	380	1,08	3,7	7,8	7,31	0,00	0,03	0,09	7,43	0,71	0,0	8,14	91	0
Bi3	111-163	150	300	550	0,92	4,2	8,0	3,59	0,29	0,02	0,05	3,95	0,16	0,0	4,11	96	0

Fonte: Melo et al. (2010a).

Tabela 4. Chernossolo Ebânico Órtico vértico

Horizonte		Granulometria (g kg^{-1})			P	C	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	S	H^{+}	Al^{3+}	CTC	V	m
Simb.	Prof. cm	Areia	Silte	Argila	mg kg^{-1}	g kg^{-1}		----------cmol$_c$ kg^{-1}----------								---%---	
Ap	0-20	420	290	290	1,16	20,6	7,0	9,31	0,04	0,05	0,09	9,35	2,83	0,0	11,88	79	0,0
Bi1	20-38	400	220	380	1,46	6,9	7,3	10,50	0,08	0,07	0,14	10,79	1,37	0,0	12,16	86	0,0
Bi2	38-58	500	210	290	1,39	3,7	7,4	12,70	0,06	0,05	0,11	12,92	1,43	0,0	14,35	90	0,0
BC/Cr	58-90+	410	310	280	1,37	4,0	7,6	7,10	0,43	0,07	0,15	7,75	0,99	0,0	8,74	89	0,0

Fonte: Melo et al. (2010a).

POVOS HABITANTES DAS SERRAS DO NORTE DE RORAIMA E USO DA TERRA

Os povos indígenas das serras das regiões norte e nordeste de Roraima são das etnias Patamona, Taurepang, Macuxi, Wapixana e Ingaricó, que habitam parte do Brasil e dos países vizinhos (Venezuela e República da Guiana), em ambiente de savana de alta altitude, onde coexistem. Juntas, essas etnias indígenas dominavam uma imensa área no tríplice fronteira, região atualmente conhecida como *Gran Sabana* (Brasil, Venezuela e Guiana Inglesa). Os ancestrais dos Taurepang, índios caribenhos, habitavam essa região há mais de três mil anos, desde o rio Negro no Amazonas (oeste) até o Amapá (leste), acompanhando o Atlântico até a atual América Central, incluindo grande parte das ilhas caribenhas, e cujo nome remonta a esse grande povo (Pereira *et al.*, 2020).

O povo Taurepang não é originário da área que ocupam atualmente, pois desceu do norte na época da invasão colonial, participando da mesma migração dos Macuxis, chegando à região do rio Branco, onde se fixaram (Amodio; Pira, 1985). Os Macuxis e Wapichanas passaram a entrar e ocupar a região de serra nos últimos 300 anos (Koch-Grunberg, 1917).

USO DA TERRA PELOS POVOS HABITANTES DAS SERRAS

Na região serrana do Uiramutã, a conservação das terras está condicionada à pressão populacional local das comunidades indígenas, que antes se limitavam a explorar as partes mais aplainadas e rebaixadas ao longo dos vales, desenvolvendo suas atividades agrícolas em solos mais férteis, de forma itinerante com derrubada e queima (Melo *et al.*, 2010b). Nesses solos ricos (Nitossolo Vermelho, Chernossolos e Cambissolos vérticos) são cultivadas diversas culturas: milho, bata-doce, mandioca, feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), principalmente, feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), banana, algodão e café (*Coffea arábica*); em alguns casos utiliza-se esterco bovino para a fertilização das fruteiras. As práticas de cultivo e o relevo devem ter contribuído para manter os níveis de matéria orgânica superiores aos demais solos, principalmente em profundidade. Como o solo ocupa uma posição mais baixa na paisagem e há um retorno de restos culturais, associado à queima parcial, os valores de carbono orgânico mantêm-se elevados, apesar de cultivos continuados (Melo *et al.*, 2010a). Tal fato contribui para a sustentabilidade da produção agrícola, conforme reportado pelos indígenas, "esta terra preta" (*Eri-k'tun*) tem mantido o sustento das famílias por muitas décadas, com cultivos anuais e perenes (fruteiras, principalmente) (Figuras 4 e 5).

Figura 4. Roça recém-plantada com a cultura da mandioca em Chernossolo, região do Flechal, Raposa Serra do Solo.

Figura 5. Roça de milho em Chernossolo, região do Flechal, Raposa Serra do Solo.

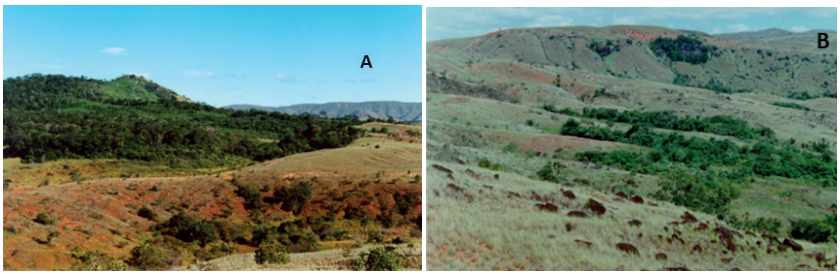


Figura 6. Erosão acelerada em pastagem e relevo declivoso, com solos do tipo Nitossolo Vermelho Eutrófico (A) e Cambissolo Háplico Eutrófico (B).

A PERCEPÇÃO INDÍGENA DO USO E CONSERVAÇÃO DA TERRA

O conceito de terra para os indígenas tem significado simbólico, baseado em crenças tradicionais combinadas com práticas cristãs em sincretismo religioso (Amodio; Pira, 1985). Os povos indígenas reconhecem não só a importância de proteger a terra e os seus habitantes, mas também o papel do ambiente na identidade cultural, na transmissão de conhecimentos, na continuidade cultural, na soberania alimentar e nas cerimônias desses povos indígenas (Fa *et al.*, 2020; Liboiron, 2021; Menzies *et al.*, 2022). Nesse contexto, percebe-se que os povos indígenas entendem a terra como um recurso, que se comporta como um ser vivo, e como um sistema de suporte de vida para os humanos (Albert, 1992; Melo *et al.*, 2010a).

A terra, as plantas e os humanos estão vinculados por relações recíprocas que permitem a perpetuação da vida. Assim, a terra é venerada como a mãe de todos os seres vivos (Albert, 1992). As colheitas são vistas como atividades básicas que garantem a saúde e a sobrevivência das pessoas, e, portanto, requerem bom cuidado e manejo da terra (Alves, 2001)..

Esses valores éticos sustentam toda a produção local. No entanto, esse sistema de crenças pode ser alterado por incertezas econômicas e ambientais (Falcão *et al.*, 2017). Tal aceitação implica que o comportamento da terra não pode ser totalmente controlado pelas pessoas que vivem ou trabalham nela. Assim, os povos devem agir de forma ética, com respeito, compromisso e tolerância. Isso se reflete nos relacionamentos entre ciclo climático, ciclo de produção e calendário ritual (Pulido; Bocco, 2003). As relações povos-ambiente podem transcender a esfera estrita da comunidade e levar em consideração externalidades, que afetam as relações internas entre coletividades e entre indivíduos, tais como migrações temporárias e outros rendimentos não vinculados ao trabalho agrícola (Barrera-Bassols, 2003; Barrera-Bassols *et al.*, 2006). Portanto, o cuidado com a terra, a produção sustentável e a conservação são partes inerentes do conceito simbólico da terra pelos indígenas.

Isso se reflete na preocupação em manejar a terra para atender às necessidades humanas, sem comprometer o potencial de recursos, como sistema de suporte de vida (Falcão *et al.*, 2017; Leff, 2009). De uma forma muito semelhante ao conceito mais integrativo, idealizado em algumas coletividades modernas (FAO, 1976; Zonneveld, 1995), a terra é vista como um todo, incluindo águas, clima, plantas, relevo e solos.

No Uiramutã, em razão da boa fertilidade dos solos, eutróficos locais, é possível cultivos bem-sucedidos, quase contínuos, com pousios curtos. As características químicas desses solos eutróficos (Tabelas 3 e 4) demonstram que a fertilidade se deve à maior reserva de matéria orgânica e ao Ca^{2+} presente no complexo sortivo. Diversamente, os solos distróficos (Tabelas 1 e 2) apresentam fragilidades que são superadas pelo aporte de fertilizantes orgânicos (estercos), rotação de culturas e pousios longos, que variam de 10 a 15 anos. A produção obtida não é comercializada por falta de estrutura de estradas para promover o escoamento. Não existem práticas de controle de erosão ou do fogo, sendo a natureza responsável por processo de amenização da erosão. Assim como no Uiramutã, os maiores problemas da agricultura na serra de Pacaraima são o acesso e o isolamento de algumas comunidades.

AVANÇOS NA QUEIMA CONTROLADA

A agricultura de corte e queima é uma prática de cultivo milenar, adotado principalmente nas regiões tropicais florestadas, e constitui-se no principal sistema de produção em regiões pobres do planeta (Pedroso Júnior; Murrieta; Adams, 2008). Destaca-se, entre outras formas de cultivo, como um dos sistemas de subsistência praticado por pequenos agricultores na Amazônia, que utilizam as florestas primárias e secundárias. Esse sistema de roças alterna o cultivo e o pousio da terra, quando a capoeira se desenvolve e oferece condições ao próximo cultivo (Freitas *et al.*, 2013; Kato *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2007; Pedroso Júnior; Murrieta; Adams, 2008).

O marco regulatório no Brasil, que trata do uso do fogo e queima controlada de forma mais específica, que visa regular as queimas de roças e outras práticas agrícolas e florestais, foi definido com o Decreto nº 2.661 de 8 de julho de 1998, que estabeleceu as normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agrícolas e florestais.

Na serra de Pacaraima, a queima periódica das roças é feita com apoio das brigadas contra incêndios florestais do Ibama (Lima; Weiduschat, 2019).

A queima controlada de roças consiste no enleiramento do material que foi cortado em área circunscrita e definida, na abertura de aceiros e no ateamento de fogo ao material vegetal seco, observando-se fatores, como: comportamento do fogo, largura dos aceiros, direção dos ventos, umidade relativa do ar, horário de queima e vigilância da área queimada, fazendo com que a queima se realize somente na área derrubada para lavouras, e não haja perda do controle do fogo e ocorrência de incêndios florestais (Lima; Weiduschat, 2019).

ROÇAS E SISTEMAS DE CULTIVOS NA SERRA DE PACARAIMA

Nesta parte, as informações foram obtidas da vivência de uma indígena que se encontra entre os autores obra:[1]

A formação de uma roça indígena nas áreas de montanha em Roraima se inicia com a escolha da área e a época da derrubada, geralmente, se dá entre os meses de novembro a fevereiro do ano seguinte. Primeiro é feito o roço, também conhecido como broca, que significa roçar com foice e facão a vegetação no entorno das árvores mais altas para facilitar o trabalho de derrubada. Em seguida, é feito o corte das árvores utilizando-se motosserra e machado, onde se faz um pré-corte em várias árvores posicionadas no sentido da inclinação do terreno, para acelerar o trabalho, pois ao derrubar as primeiras árvores do ponto mais alto, as demais caem umas sobre as outras em "efeito dominó".

O período de queima se inicia quando todo o material vegetal da derrubada está completamente seco, em final de fevereiro e março, antes do período chuvoso. Prepara-se então o aceiro, limpando ao redor de toda a área derrubada para evitar que o fogo se espalhe durante a queima, atividade que deve ser supervisionada pela autoridade competente do Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Algumas vezes, o indígena não aguarda pela supervisão do Ibama, fazendo com que o fogo se espalhe pela floresta exigindo que todos da comunidade se juntem para apagar.

A maioria dos indígenas prepara manualmente o solo para o plantio, desde a destoca, retirada dos tocos e raízes com enxadeco e picareta, até a coivara, amontoando os restos de madeira para queima, de forma a finalizar a limpeza da área antes da chegada da chuva. Como o terreno é montanhoso, não há como utilizar mecanização para facilitar o processo de estabelecimento das áreas de plantio. Também não há emprego de insumos agrícolas e irrigação. Nesse sistema, a terra é utilizada por um período agrícola de dois a três anos, sendo gradativamente deixada em pousio para reutilização. Após a área entrar em pousio inicia-se a abertura de outra área de floresta ou de capoeira alta, para repetir a formação de nova roça. Com essas práticas os povos indígenas locais acreditam que expressam respeito à natureza.

A petição das comunidades indígenas para auxílio na queima de suas roças é simples, não requerendo nenhuma formalidade por escrito, sendo necessário o interessado dirigir-se à Brigada local (BRIF) e requerer o serviço. Na ocasião da queima das roças, os brigadistas do Ibama, devidamente acompanhados pelos proprietários

[1] Indígena Macuxi, Produtora na Serra de Pacaraima , Vera L. Brandão. Agrônoma, formada pela Universidade Federal de Roraima, e produtora de café, hortaliças e fruteiras na comunidade Kauwê.

das roças, e de forma conjunta com estes, ateiam fogo na área que previamente foi derrubada, enleirada e aceirada (Figuras 7 e 8). As culturas implantadas em seguida são as mais diversas, geralmente cultivares crioulas, incluindo mandioca/macaxeira, batata-doce, cará/inhame, milho, abóbora/jerimum, banana, feijão-caupi, pimentas, arroz, cana-de-açúcar, cana-flecha ou flecheira, tabaco, abacaxi, açaí, pupunha, urucum e frutíferas (Tabela 5).

Figura 7. Brigadista portando bomba manual com água, ajudando na queima controlada das roças indígenas.

Figura 8. Roça indígena derrubada, aguardando a queima controlada.

No começo das chuvas, inicia-se gradualmente o plantio das culturas anuais (milho, feijão, abóbora, ente outras), de acordo com o grau de umidade do solo. Passadas algumas semanas, começam a plantar as culturas de ciclo maior, como: mandioca, banana, mamão e, em alguns casos, café, cujo plantio inicia-se no mês de maio quando há maior umidade no solo, pois sem irrigação a dependência do suprimento de água das culturas é por meio da chuva. Nas palavras da entrevistada:

> Fazemos o planejamento do plantio de todas as espécies ao mesmo tempo, e sempre com foco na cultura principal, seguindo as recomendações agronômicas que é plantar em nível e as linhas no sentido leste-oeste. No caso do cafeeiro, utiliza-se o distanciamento recomendado entre as plantas e consorcia-se com plantas de crescimento rápido para cobertura do solo, para acúmulo de biomassa, acúmulo de nutrientes e para manter umidade no solo, pois vão estar em constante manejo de poda. Não menos importantes, são os insumos que utilizamos, como o calcário dolomítico, fosfato natural reativo, gesso agrícola, esterco e muita matéria orgânica.
>
> Após tudo definido e planejado, partimos para o preparo do solo. Iniciamos pela capina seletiva roçando o mato, fazendo a poda parcial ou total de árvores e arbustos existentes no local, picando os ramos e galhos de suas copas e cortando os troncos em pedaços do tamanho da largura dos canteiros, depois esse material é todo reservado na lateral da área para, posteriormente, ser usado como cobertura do solo. No preparo dos canteiros, primeiro definimos as linhas de plantio da cultura principal, o café, planta de estrato baixo que irá ocupar 80% da área e todas serão plantadas em nível. Marcados os berços (cova) definimos os canteiros de árvores

junto com as frutíferas e hortaliças. Nas entrelinhas vão as plantas de crescimento rápido para cobertura do solo e produção inicial de biomassa vegetal a ser utilizada como adubo no próprio sistema. Nos canteiros de hortaliças passamos a rotativa com o tratorito. Depois da correção e adubação os canteiros são cobertos com restos vegetais triturados, enquanto nos canteiros de árvores e frutíferas os troncos e galhos cortados são acomodados lado a lado por toda a extensão deixando livre os berços para o plantio das mudas e sementes.

No momento do plantio tudo é plantado, ao mesmo tempo, com diversidade e densidade, mas temos o cuidado de consorciar as espécies de acordo com sua arquitetura aérea e radicular, velocidade de crescimento, ciclo de vida. Portanto, temos preocupação com a sucessão e estratificação da agrofloresta.[2]

Tabela 5. Modelos contrastantes da Agricultura indígena nas áreas de montanhas da serra de Pacaraima e de Uiramutã em Roraima

Ambientes	Solos	Relevo/ Vegetação	Malocas/ grupos indígenas	Culturas/manejo/pousio
Cristas de serras e planaltos em rochas vulcânicas ácidas e metarenitos	RLd, CXbd, LVA, LAd, FXd. Baixa CTC e Al^{3+} alto	Ondulado (colinoso) até montanhoso. Floresta ombrófila montana. Transição Savana/Floresta e Cerrado Rupestre	Ingaricó, Taurepang e Macuxis	Mandioca, banana, batata doce, café, milho, cana-de-açúcar, fruteiras (citrus, açaí, cupuaçu, abacaxi, graviola, caju), pupunha, pimentas, cará, oroçá, melancia, feijão, açafrão, urucum, maxixe e hortaliças. Pousios longos (7-10 anos). Bovinos extensivo nas áreas de menor altitude.
Serras e planaltos em rochas máficas (basaltos e diabásios)	PVAe, PVAd, PVe, NVe, ME, CXbe Média a alta CTC, Al^{3+} baixo	Colinoso a montanhoso. Floresta estacional decidual e semidecidual	Macuxis, Uiramutã, Flechal, Socó, Macaranã e bananeira	Milho, feijão, algodão, banana, café, mandioca, batata doce, melancia, pimentas, fibras (curauá), flecheira, fumo, abóbora. Pousios mais curtos (5 anos). Criação de bovinos

RLd – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico, LVA – LATOSSOLO-VERMELHO AMARELO Distrófico, LAd – LATOSSOLO AMARELO Distrófico, FXd – PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico, PVAd – ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO Distrófico, PVAe – ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO Eutrófico, NVe – NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico, ME – CHERNOSSOLO EBÂNICO, CXbe – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico.

No período da seca, há grande mortalidade de plantas, e as que sobrevivem sofrem muito até se reestabelecerem. Por esse motivo, o indígena planta as frutíferas no terreiro de suas casas, por facilitar os tratos culturais (rega e adubação) para terem frutos e sombra.

[2] Palavras da indígena Macuxi, Vera L. Brandão. Agrônoma, formada pela Universidade Federal de Roraima, e produtora de café, hortaliças e fruteiras na comunidade Kauwê. Vera faz parte como autora deste capítulo.

Os tipos de roças são considerados pouco sustentáveis, e deslocadas da realidade do solo, uma vez que a vida nômade ficou no passado, estão fixados com residência e precisam manter a área cultivada por anos. O grande limitador dessa transição é a condição financeira para viabilizar cultivos permanentes e sustentáveis. Os nossos indígenas têm disposição, coragem, força e inteligência para buscar conhecimento e meios de realizar um trabalho com excelência, mas faltam meios financeiros para atingir o sucesso.

> Preocupados com esse novo estilo de vida, buscamos conhecimento nos estudos para serem aplicados dentro da nossa comunidade. E foi assim que conhecemos o sistema agroflorestal que, a primeiro momento vimos como uma nova tecnologia, no entanto, quanto mais captávamos conhecimentos, mais fomos descobrindo que essa "nova tecnologia", é a verdadeira roça dos nossos antepassados, agora de forma moderna e organizada.
>
> Foi uma surpresa descobrir que estudiosos tiveram a curiosidade de saber como os povos originários praticavam a agricultura, e junto a eles buscaram essas informações, agora nos repassam por meio da agroecologia como agricultura natural, agricultura ecológica, agricultura regenerativa, sistema agroflorestal e outros. Então, nos conscientizamos e aderimos à prática da agrofloresta, que consiste em preparar o solo como a natureza o faz, abrindo clareira e acumulando matéria orgânica e sem uso do fogo. E, assim, fazemos uma parceria com a natureza, trabalhamos juntos e cada um cumpre sua função.
>
> Antes de começarmos a plantar fazemos todo um planejamento. Para definir o tamanho da área, levamos em conta a quantidade de mudas e sementes que temos disponível. Não vale a pena ter uma área muito grande se não tivermos como preencher todo o espaço. As espécies empregadas, de preferência, são as adaptadas, para que possam cumprir papéis ecológicos semelhantes às nativas da região.
>
> É importante conhecer a origem (lugar nativo da planta) das espécies que serão cultivadas para serem conduzidas na estratificação florestal que cada uma ocupa dentro do sistema, isso está relacionado com a quantidade de luz que a planta precisa receber para ter um bom desenvolvimento.

Hoje entende-se que fazer agrofloresta não é apenas uma prática agrícola; é o resgate de tradições e a interação do homem com a natureza, respeitando seus princípios e sua participação na verdadeira manutenção do meio ambiente (Figuras 9 e 10).

Figura 9. Sistema integrado café, banana, graviola e espécies florestais, comunidade Kauwê, em área de montanha na Serra de Pacaraima, Roraima.

Figura 10. Produção de hortaliças, comunidade Kauwê, em área de montanha na Serra de Pacaraima, Roraima.

A agricultura desenvolvida pelos indígenas da comunidade Kauwê do Alto Miang (Serra de Pacaraima) ainda é tradicional e familiar, onde a maioria fornece quase toda a produção para programas de governo: Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), por meio da Cooperativa Agropecuária Indígena de Pacaraima (Coop'agi) entregues no Centro de Referência de Assistência Social (CRAS). Outros agricultores, não associados, entregam por conta própria pelo Cadastro Nacional da Agricultura Familiar (CAF) e, ainda, têm os que vendem seus produtos in natura ou processados no comércio local diretamente para o consumidor final.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento das populações indígenas no setor montanhoso do norte de Roraima (Reservas São Marcos e Raposa Serra do Sol) tem aumentado a pressão no uso da terra para produção de alimentos, e as práticas de derruba e queima têm causado grande interferência na estabilidade dos ecossistemas de serra das regiões de Roraima, pelas queimadas constantes.

Em função desses avanços, tem-se implementado o uso controlado do fogo na queima das roças com apoio de brigadistas do Ibama. Há necessidade de aumentar a capacitação técnica de membros das comunidades, os quais servem como nucleadores de difusão de tecnologia. Assim, sistemas integrados e diversificados de cultivos têm sido adotados pelos habitantes das regiões serranas, com melhoria dos sistemas nativos e introdução de culturas que já fazem parte dos hábitos alimentares, tais como café e hortaliças.

Contudo, ainda há uma longa trajetória de melhorias capazes de manter e resgatar valores de sistemas tradicionais de cultivos e produção de alimentos básicos, em moldes mais sustentáveis e duradouros.

Dada a grande complexidade pedológica e de ambientes na região, há espaço para avanços e desenvolvimento de práticas com maior sintonia às características naturais de solo, relevo e clima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERT, B. **Urihi**: Terra, economia e saúde Yanomami. Brasília, ORSTOM-Universidade de Brasília, 1992. 20 p. (Série Antropologia).

ALVES, R. N. B. **Características da Agricultura Indígena e sua Influência na Produção Familiar da Amazônia.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 20 p.

AMODIO, E.; PIRA, V. **História dos povos indígenas de Roraima**: Makuxi – Ingaricó – Taurepaang e Wapixana. Coordenação Loretta Emiri. Boa Vista: Boletim n. 1 – Arquivo Indigenista da Diocese de Roraima, 1985.

BARRERA-BASSOLS, N.; ZINCK, J. A. Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people. **Geoderma**, 111: 171-195. 2003.

BARRERA-BASSOLS, N.; ZINCK, J. A.; RANST, E. V. Local soil classification and comparison of indigenous and technical soil maps in a Mesoamerican community using spatial analysis. **Geoderma**, 135:140-162, 2006.

BRASIL. **Decreto 2.661 de 08 de julho de 1998**. Regulamenta ....normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm. Acesso em: 05 jul. 2025.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADMBRASIL**, 1975 (volume 8). Folha NA. 20. Boa Vista, parte das Folhas NA 21. Tumucumaque, NA 20. Roraima e NA 21. Rio de Janeiro. 1975.

FA, J. E.; WATSON, J. E.; LEIPER, I.; POTAPOV, P.; EVANS, T. D.; BURGESS, N. D.; MOLNÁR, Z.; FERNÁNDEZ-LLAMAZARES, A.; DUNCAN, T.; WANG, S.; AUSTIN, B. J.; JONAS, H.; ROBINSON, C. J.; MALMER, P.; ZANDER, K. K.; JACKSON, M. V.; ELLIS, E.; BRONDIZIO, E. S.; GARNETT, S. T. Importance of Indigenous Peoples' lands for the conservation of Intact Forest Landscapes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 18: 135-140. 2020.

FALCÃO, M. T.; RUIVO, M. L. P.; BESERRA NETA, L. C.; COSTA, J. A. V. Etnoconhecimento Ecológico dos Ingarikó sobre o Geoambiente da Terra Indígena Raposa Serra do Sol – Uiramutã/Roraima. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, 13 (1), 2017.

FAO. **A framework for land evaluation**. FAO Soils Bulletin 32. Rome. 79 p. 1976.

FREITAS, J. L.; SANTOS, E. S.; LIMA E SILVA, R. B.; SILVA, T. L. Comparação e análise de sistemas de uso da terra de agricultores familiares na Amazônia. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 3, n. 1, p. 100-108, 2013.

KATO, O. R.; VASCONCELOS, S. S.; FIGUEIREDO, R. O.; CARVALHO, C. J. R.; SÁ, T. D. A.; SHIMIZU, M. K. Agricultura sem queima: uma proposta de recuperação de áreas degradadas com sistemas agroflorestais sequenciais. *In:* LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (Ed.). **Agricultura Conservacionista no Brasil.** Brasília: Embrapa, 2014. p. 189-216.

KOCH-GRÜNBERG, T. VOM ROROIMA ZUM ORINOCO. **Ergebnisse einer reise in nordbrasilien und Venezuela in der Jahren 1911-1913**. Erster Band. Schilderung der reise. Berlin: Dietrich reimer, 1917. v. 2.

LADEIRA, L. F. B.; DANTAS, M. E. Compartimentação Geomorfológica. *In:* HOLANDA, J. L. R.; MARMOS, J. L. M.; MAIA, M. A. M. (Eds.). **Geodiversidade do estado de Roraima**: Programa Geologia do Brasil Levantamento da Geodiversidade. Manaus: CPRM, 2014. p. 31-46.

LEFF, E. **Ecologia, Capital e Cultura** – A Territorialização da Racionalidade Ambiental. Petrópolis,/RJ: Vozes, 2009.

LIBOIRON, M. **Pollution is Colonialism**. Duke University Press, Durham, NC, USA, 197 p. 2021.

LIMA, J. P. P.; WEIDUSCHAT, A. A. Queima técnica de roças e o conhecimento indígena do uso do fogo no Lavrado de Roraima – Brasil: Lições do Núcleo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais de Roraima. 7a Conferência Internacional sobre Incêndios Florestais – Campo Grande, 2019. **Resumos**.

MELO, V. F.; FRANCELINO, M. R.; UCHÔA, S. C P.; SALAMENE, S.; SANTOS, C. S. V. Solos da área indígena yanomami no médio Rio catrimani, roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:487-496, 2010.

MELO, V. F.; MATOS, C. S.; VALE JÚNIOR, J. F. Distribution of sodium-affected soils in the Amazon: genesis, Characterization and agricultural aptitude. Global Symposium Salt-Affected Soils. **Annals…** FAO. 2021. Online.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VALE JÚNIOR, J. F.; FRANCELINO, M. R. Etnopedologia: O Conhecimento Indígena Tradicional dos Yanomami e Wapishana em Roraima. *In:* BARBOSA, R. I.; MELO, V. F. **Roraima:** Homem, Ambiente e Ecologia. Boa Vista-RR, FEMACT, p. 213-233. 2010b.

MELO, V. F.; VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Solos de Roraima. **Ação Ambiental**, 32:24-27. 2005.

MENZIES, A. K.; BOWLES, E.; GALLANT, M.; PATTERSON, H.; KOZMIK, C.; CHIBLOW, S.; MCGREGOR, D.; FORD, A.; POPP, J. N. "I see my culture starting to disappear": Anishinaabe perspectives on the socioecological impacts of climate change and future research needs. **FACETS**, 7: 509–527. 2022.

OLIVEIRA, J. S. R.; KATO, O. R.; OLIVEIRA, T. F.; QUEIRÓZ, J.; CARDOSO, R. Agricultura familiar e Safs: produção com conservação na Amazônia Oriental, nordeste paraense. *In:* Congresso Brasileiro de Sistemas de Produção. Agricultura familiar, políticas públicas e inclusão social. **Anais...** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007.

PEDROSO JÚNIOR, N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Humanas, Belém**, 3(2): 153-174. 2008.

PEREIRA, T. M. G.; MAGALHÃES, S. M.; NAZARENO, E. Estado do conhecimento sobre história da alimentação indígena no Brasil. **Curitiba**, v. 68, n. 01, p. 368-403, 2020.

PINHEIRO, S. S. Geologia da região do Caburaí, nordeste de Roraima, Estado de Roraima. *In:* PINHEIRO, S. S.; REIS, N. J.; COSTI, H. T. (Orgs.) **Programas de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil** - Cartas geológicas, cartas metalogenético, previsionais, Escala 1:100.000. Brasília, DNPM/CPRM. 1990. 92 p.

PULIDO, J. S.; BOCCO, G. The traditional farming system of a Mexican indigenous community: The case of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, Mexico. **Geoderma**, 111:249-265, 2003.

SCHAEFER, C. E. G. R.; RESENDE, S. B.; CORREIA, G. F.; LANI, J. L. Características químicas e pedogênese de solos afetados por sódio do nordeste de Roraima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 17:431-438. 1993.

SCHAEFER, C. G. R.; VALE JÚNIOR, J. F.; MELO, V. F.; FARIA, M. M.; URQUIZA, M. A.; FRANCELINO, M. R. Solos, ambientes e povos indígenas de Roraima: uma etnoecologia entrelaçada. *In:* BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A.; VALE JÚNIOR, J. F. (Eds.). **Guia de Campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Roraima, Brasília, 2018. p. 165-182.

SCHAEFER, C. E. G. R.; DALRYMPLE, J. Landscape evolution in Roraima, North Amazonia: Planation, paleosols and paleoclimates. **Zeit. Fur Geomorph**, 39: 1-28, 1995.

SCHAEFER, C. E. G. R.; DALRYMPLE, J. B. Pedogensis and relict properties of soils with columnar structure. **Geoderma**, 71: 1-17. 1996.

SCHAEFER, C. E. G. R.; MOREIRA, G. F.; PORTES, R. C.; MENDONÇA, B. A. F. Diagnóstico ambiental e sustentabilidade da área indígena Raposa-Serra do Sol. **Ação Ambiental**, 32:31-38. 2005.

VALE JÚNIOR, J. F. **Pedogênese e alterações dos solos sob manejo itinerante, em áreas de rochas vulcânicas ácidas e básicas, no nordeste de Roraima.** (Tese de Doutorado). UFV, Viçosa, 2000. 185 p.

VALE JÚNIOR, J. F.; LEITÃO DE SOUZA, M. I.; NASCIMENTO, P. P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: Etnopedologia e desenvolvimento sustentável **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p.158-165, 2011.

VALE JÚNIOR, J. F.; SCHAEFER, C. G. R.; COSTA, J. A. Transferência de conhecimento: Diálogos entre os saberes indígena e técnico na Terra Indígena Malacacheta, Roraima. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 403-412, 2007.

VALE JÚNIOR, J. F.; SOUSA, M. I. L. Caracterização e distribuição dos solos das Savanas de Roraima. *In:* BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; SOUZA, J. M. C. **Savanas de Roraima**: Etnoecologia, biodiversidade e potencialidades agrosilvopastoris. Boa Vista, RR: FEMACT, 2005. p. 79-91.

ZONNEVELD, I. S. Land Ecology. **An introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation**. SPB Academic Publishing. Amsterdam. 199 p. 1995.

CAPÍTULO 5

CONTROLE DO PROCESSO DE EROSÃO HÍDRICA E MITIGAÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

Pedro Freitas
Pesquisador
Embrapa Solos, Jardim Botânico, Rio de Janeiro

Guilherme K. Donagemma
Pesquisador
Embrapa Solos, Jardim Botânico, Rio de Janeiro

Ana Paula G. de Farias
Engenheira Agrônoma
Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular
Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Nivaldo Schultz
Professor Associado
Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Yan Vidal de Figueiredo Gomes Diniz
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

INTRODUÇÃO

As regiões tropicais, caracterizadas pelo predomínio de solos com baixa fertilidade natural e alta susceptibilidade à erosão, exigem práticas de manejo adequadas para garantir a sustentabilidade e a produção de alimentos. Como norma, práticas agrícolas adequadas não são adotadas por diversos fatores, incluindo: desconhecimento técnico, existência de certos tipos de agricultura ancestral, importação de técnicas agrícolas das regiões temperadas, ou a simples exploração do solo como na indústria

mineradora, na qual apenas tudo se retira sem nada ter que dar em troca (Réffega, 1997). Além disso, cita-se o entrave da baixa disseminação do conhecimento gerado pela ciência devido à carência de um setor extensionista fortalecido. Apesar de nesse ambiente serem observados, de maneira geral, solos com uma baixa fertilidade natural, os ambientes de montanhas em regiões de clima tropical apresentam uma biodiversidade (fauna e flora) rica e a presença de nascentes d'água, essenciais para a garantia de vida nas áreas a jusante.

As belas e curiosas formas das áreas de montanha são decorrentes das mudanças ocorridas no ambiente através de diferentes processos erosivos, com destaque para a erosão hídrica. Essas regiões possuem relevante valor ambiental devido à sua extensão territorial e à influência dos elementos naturais, como água e o endemismo de espécies que desempenham papel fundamental para a garantia da segurança alimentar (Ferreira ***et al.***, 2023). A ação antrópica nesses ambientes para produção de alimentos requer atenção à vulnerabilidade ou fragilidade do solo e à produção de água, pois práticas de manejo não sustentáveis podem levar a perdas significativas de solo e à seca de nascentes. A adoção de uma agricultura conservacionista ou regenerativa nesses ambientes surge como alternativa para a restauração e manutenção da qualidade do solo e da água, aliada à produção de alimentos, eximindo assim o ambiente natural do empobrecimento de seus recursos naturais.

O objetivo deste capítulo é descrever os desafios no manejo de solos no ambiente de montanha em regiões tropicais identificando as causas da sua degradação e as alternativas de controle da erosão hídrica e mitigação da compactação do solo em diferentes sistemas de produção (lavouras, pastagens, hortaliças). Para isso, a adoção de práticas e técnicas conservacionistas ou regenerativas de manejo do solo é essencial para garantir a sustentabilidade social, econômica e ambiental, a segurança alimentar e a qualidade de vida nas áreas de montanha, fomentadas por políticas públicas e programas de incentivo, em especial o pagamento de serviços ecossistêmicos.

Ocupação e manejo de Solos de Montanha

A ocupação inicial dos solos de montanha, em função do seu distanciamento dos centros urbanos, se deu predominantemente pela agricultura familiar, desprovida de recursos e, em muitas ocasiões, sem o auxílio técnico necessário. Dessa forma, o desmatamento seguido do cultivo de culturas, como café (na região sudeste) e uva e maçã (na região sul), utilizando técnicas, como o revolvimento do solo com aração e gradagem, herdadas de regiões de clima temperado, caracterizou a ocupação desses ambientes. Segundo Straliotto e Freitas (2022), nas condições de solos altamente

intemperizados e dos rigores do clima tropical, tais práticas e técnicas e a adoção de manejo não conservacionistas causaram a rápida degradação das terras e a aceleração dos processos erosivos, resultando no baixo rendimento por hectare e na produção baseada na ocupação de extensas áreas naturais.

Na década de 1960, a associação entre fatores naturais (pluviosidade e topografia) e antrópicos (cultivo convencional de culturas) intensificou os processos erosivos e gerou a formação de ravinas e voçorocas e os deslizamentos de terras. Em áreas nas quais era possível o acesso de máquinas e onde a assistência técnica pôde guiar as melhores maneiras de cultivo, foram implementadas práticas mecânicas de conservação do solo, como plantio em nível, terraceamento, canais escoadouros, entre outros, que se mostraram efetivas em áreas com culturas perenes, como café e citrus, e semi perenes, como a cana-de-açúcar.

Na década de 1970, a semeadura direta, associada à diversificação e cobertura permanente do solo, surgiu como prática para controlar a erosão em áreas de produção de grãos (Freitas; Landers, 2014). No entanto, sua adoção em áreas de montanha permaneceu incipiente. Nesses locais, essas práticas não chegaram a ser implantadas, tornando-se uma realidade muito tímida, ainda atualmente.

Os serviços ecossistêmicos proporcionados pelos ambientes de montanha são de extrema importância para compreensão das relações sociais com o ambiente (Ferreira *et al.*, 2023). Esses serviços têm reduzida qualidade quando o ambiente é submetido à intervenção humana, seja para cultivos ou para outras ações antrópicas.

Dentre as diversas atividades praticadas hoje no bioma Mata Atlântica, em especial na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, destaca-se a agricultura migratória e itinerante (Miranda, 2008). Reconhecido como um dos biomas mais ameaçados do planeta, devido à elevada devastação e pequena conservação de áreas remanescentes de floresta, a Mata Atlântica requer a formação de corredores ecológicos (Miranda et al., 2023) para a proteção da fauna, flora e da vida, seja no campo ou na cidade. Requer também a adoção de técnicas adequadas para promover o aumento de produtividade agrícola sem a necessidade do desmatamento.

A produção de alimentos é um importante aliado ao enfrentamento às mudanças climáticas atrelado ao compromisso social de alimentar as populações. A redução dos impactos ambientais quando do cultivo de alimentos deve fazer parte de um planejamento e adoção de manejo que atenda as duas vertentes simultaneamente, produzir preservando, o que pode ocorrer desde que sejam adotadas práticas que promovam a manutenção de serviços ecossistêmicos. Uma vez mantida a qualidade desses serviços a resposta do ambiente, seja através do solo menos degradado ou da água com suas fontes protegidas, associado à manutenção de sua qualidade, representam oportunidade qualitativa de vida à fauna, à flora e ao homem. De

acordo com Martins (2017), a agricultura possui um grande potencial de mitigação das mudanças climáticas por meio da adoção de práticas de manejo capazes de estocar carbono no solo.

Em terras com lavouras e pastagens, o manejo inadequado do solo exerce um grande impacto, dando origem a consequências significativas e indesejáveis (Cogo; Levien; Schwarz, 2003), culminando em resultados prejudiciais tanto para o ambiente como para a produtividade agrícola (Albuquerque *et al.*, 2002; Bertoni; Lombardi Neto, 1990).

O sistema de cultivo tradicionalmente utilizado, envolvendo preparo intensivo do solo com arados, grades e subsoladores, seguido de períodos prolongados de exposição do solo após o cultivo, amplifica a remoção da camada mais superficial do solo (Albuquerque *et al.*, 2002), transportando nutrientes e comprometendo a fertilidade do solo (Hernani *et al.*, 1999), reduzindo a produtividade (Polidoro *et al.*, 2021), e causando assoreamento e eutrofização de rios, lagos e reservatórios (águas superficiais) (Ferreira *et al.*, 2023), sendo um dos fatores responsáveis pelo aumento da ocorrência de inundações de áreas urbanas e rurais e de estações secas cada vez mais intensas. À medida que a erosão modifica a estrutura do solo, não só deslocam nutrientes essenciais, mas também libera carbono para a atmosfera, reduzindo o estoque de carbono no solo.

Embora o objetivo do processo de mecanização seja garantir, através do preparo, um solo adequado para o pleno desenvolvimento das plantas, o trânsito de equipamentos durante a instalação da cultura tende a formar camadas compactadas. O preparo consiste basicamente em duas etapas, no qual a primeira, ou o preparo primário, se dá pela inversão da leiva do solo em camadas de 0,15 a 0,20 m de profundidade, geralmente utilizando arados de discos ou de aivecas, e a segunda consiste no destorroamento e nivelamento do solo, que foi gerado pela aração (Derpsch, 1997).

Esse sistema de manejo promove pulverização excessiva do solo, aumentando a sua suscetibilidade à erosão e à lixiviação dos nutrientes, pois a inversão da leiva altera a agregação das partículas, principal responsável pela retenção dos nutrientes do solo (Seguy *et al.*, 1984). De acordo com Campos *et al.* (1995), o uso inadequado de implementos agrícolas pode ocasionar o desenvolvimento da camada compactada subsuperficialmente, sendo considerada como uma das principais formas da degradação da estrutura do solo e da diminuição da produtividade das culturas. Essa prática, realizada sucessivas vezes sem a devida atividade de recuperação, tornar-se-á insustentável economicamente, seja pela baixa produtividade ou seja pelos gastos com a recuperação da área degradada futuramente.

O uso da enxada rotativa ou rotocultivador é mais comum entre os produtores de hortaliças, levando à desagregação do solo, sendo esta forma de manejo ainda muito comum em áreas de cultivos de hortaliças, como observado na Região Serrana fluminense, nascedouro de corpos hídricos que abastecem a população. Devido às exigências das culturas, como o tamanho reduzido das sementes, por exemplo, a possibilidade de regulagem da rotação das enxadas e definição do tamanho dos torrões garantem seu uso contínuo no preparo do solo, para semeadura. A enxada rotativa, devido ao seu princípio de funcionamento, deixa o solo subdividido em frações de diversos tamanhos (Silveira, 1989). O resultado dessa ação mecânica aos agregados do solo é a sua ruptura, ao quebrar sua estrutura. A decomposição da matéria orgânica torna-se mais rápida, podendo haver uma redução significativa do conteúdo desta, caso não seja paralelamente aplicada uma quantidade suficiente de adubo orgânico (Silveira, 1989). Essa ação de pulverização do solo tende a reduzir a concentração de carbono nas camadas superficiais, gerando efeitos diretos, como a diminuição da fertilidade do solo e indiretos, como o aumento da densidade do solo – devido à sua atuação como agente cimentante na formação dos agregados do solo – e redução da micro e mesofauna do solo (Sant'anna *et al.*, 2024).

Esse modelo de agricultura vem acarretando uma vulnerabilidade social e um acentuado processo de degradação ambiental que afeta a capacidade produtiva das unidades familiares (Assis; Antônio; Aquino, 2019). Mudanças na vegetação e nos estoques de carbono do solo podem ocorrer naturalmente quando o ecossistema se desenvolve, amadurece ou é degradado, ou como resultado de usos do solo que servem às necessidades da sociedade, tais como produção de alimentos e madeira, fornecimento de energia, desenvolvimento urbano, gestão de resíduos e abastecimento de água (Ostle *et al.*, 2009).

A incerteza do valor de mercado dos produtos agrícolas deve ser considerada quanto ao risco de custos não cobertos pela produção, inclusive os de recuperação de terras degradadas. Uma vez que os sistemas de manejo não conservacionistas implicam no contínuo favorecimento de degradação do solo – o que associado às ocorrências naturais como chuvas, ventos etc. – geram perdas de massa do solo através de escorregamentos, assoreamentos de corpos hídricos e empobrecimento do solo nas áreas de produção. Altos níveis de erosão são verificados em decorrência do uso de práticas pouco conservacionistas, levando ao aumento dos riscos econômicos, somados aos altos custos de produção e à incerteza dos preços dos produtos agrícolas (Assis; Antônio; Aquino, 2019).

Erosão hídrica em solos de montanha

Os estudos sobre a erosão hídrica em regiões montanhosas do Brasil apresentam como característica a especificidade a regiões específicas (Batista *et al.*, 2021; Duarte *et al.*, 2020; Vendruscolo *et al.*, 2020). Em muitas regiões, ainda não se conhece o potencial erosivo por falta de registros pluviográficos ou dados de chuva com alta resolução temporal e a sua intensificação devido à utilização de práticas inadequadas de manejo nos sistemas agrícolas (Almeida, 2018).

A região de montanha é caracterizada por relevo acidentado e por declividades elevadas, o que torna o ambiente mais suscetível à erosão hídrica, sobretudo quando ocorrem em áreas onde predominam solos rasos, como Cambissolos, Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos. Bem como, quando ocorrem Argissolos, que apresentam infiltração rápida na superfície e mais lenta em subsuperfície, devido ao horizonte subsuperficial adensado. Erosão hídrica em solos de montanha é um processo natural de formação da paisagem e formas de relevo em zonas tropicais (Bertoni; Lombardi Neto, 1990; Renard *et al.*, 1997) e, em função do clima tropical predominante, a erosão hídrica é o tipo de erosão que ocorre com maior evidência (Guerra, 2005; Muehe, 2006).

Na erosão hídrica, gotas de chuva impactam a superfície do solo, causando a ruptura e quebra dos agregados, com posterior deslocamento das partículas individualizadas, seguida pela erosão laminar, em que uma fina camada de solo é removida pela água (Albuquerque *et al.*, 2002; Carvalho; Ribeiro *et al.*, 2014). Esse desprendimento é intensificado no local em função da inclinação e do comprimento da vertente (Panagos *et al.*, 2015). À medida que o processo continua, sulcos e eventualmente voçorocas são formados, arrastando as partículas do solo para serem depositadas nas partes mais baixas da paisagem (Rubira *et al.*, 2016), contribuindo assim com a formação de novos cenários naturais em áreas de montanhas

Compactação do solo em regiões montanhosas

A compactação superficial e subsuperficial do solo é um problema comum em áreas montanhosas, resultante principalmente de práticas agrícolas inadequadas, como o revolvimento intenso envolvendo aração e gradagem no sentido do declive (morro abaixo) e do sobrepastejo. Esse processo degrada a qualidade do solo, reduz a infiltração de água e aumenta a suscetibilidade à erosão, com consequências negativas para a produtividade e para o meio ambiente.

Na maior parte da região sudeste, a compactação está associada à produção intensiva no cultivo de hortaliças. Nesses locais, o uso de implementos agrícolas para o preparo do solo promove a pulverização do solo e a compactação das camadas subsuperficiais. Enquanto o sistema favorece o crescimento de raízes, especialmente tubérculos, leva à uma redução da infiltração de água no solo, iniciando o processo de erosão.

Na região sul e em alguns pontos da região sudeste, em que ocorre a produção de culturas perenes, os entraves são diferentes: a movimentação de pessoas ou de pequenos tratores nas entrelinhas pode também causar compactação, reduzindo o desenvolvimento radicular das culturas, comprometendo a produtividade e reduzindo a infiltração de água no solo. Um exemplo desse processo são as áreas com café em Cambissolo no município de Bom Jardim na Região Serrana do Rio de Janeiro (Miranda, 2008).

Em outras regiões de montanha do Brasil, como zona da Mata Mineira, do Médio Vale do Paraíba do Sul, na Serra da Mantiqueira e Serra da Bocaina, é observado o uso com pastagem. Nessas áreas, o sobrepastoreio, com o número de unidades animais acima da capacidade de suporte do solo, sem pastejo rotacionado ou descanso da área, tem como consequência a compactação superficial – devido à pressão do casco do animal –, a redução da infiltração de água no solo e o aumento da erosão. Também compromete o desenvolvimento das raízes das forrageiras, reduzindo a capacidade de suporte. Rajbanshi, Das e Paul (2023) realizaram um estudo de meta-análise sobre práticas conservacionistas no controle dos processos erosivos e concluíram que, apesar do não revolvimento do solo ser a prática com maior impacto no controle da erosão hídrica, as demais práticas conservacionistas, como cultivo sobre a palhada, adubação com matéria orgânica e rotação de culturas, possuem capacidade de auxiliar no controle da erosão.

CONTROLE DO PROCESSO DE EROSÃO HÍDRICA EM SOLOS DE MONTANHA

A erosão hídrica é uma das principais causas de degradação do solo e devido ao longo tempo para sua formação, as taxas de perda de solo são superiores às de reposição (Needelman, 2013). De acordo com Almeida (2018), a escassez de dados pluviográficos e de estimativa da chuva crítica são fatores que limitam a caracterização do potencial erosivo de determinada região. O conhecimento dos aspectos edafoclimáticos disponíveis devem ser associados ao conhecimento tradicional das populações locais, como melhor estratégia de uso responsivo dos recursos naturais existentes, de maneira que haja redução das perdas da saúde do ambiente, otimização de recursos e ainda produção vegetal com menor custo.

Para mitigar os efeitos do manejo inadequado do solo, a adoção de práticas agrícolas conservacionistas e sustentáveis é crucial (Verdum; Vieira; Caneppele, 2016; Zonta *et al.*, 2012). Dentre elas, o cultivo mínimo e a semeadura direta são empregados também em áreas de montanha, o que apesar da pequena escala, têm alcançado bons resultados de produtividade, além do efeito benéfico ambiental, e assim sendo disseminados de forma mais abrangente e orgânica nessas regiões.

O cultivo mínimo consiste no emprego de implementos, como o arado escarificador ou a grade leve, visando romper apenas a camada superficial compactada e, no caso da grade, controlar as plantas daninhas de pequeno porte (Embrapa, 2021b). Nesse sistema usam-se máquinas convencionais em operações de revolvimento do solo de baixa intensidade – por exemplo, preparo do solo com arado escarificador, seguido de grades de dentes com ou sem rolo compactador (Silveira, 1989). O uso da grade leve é recomendado para solos descompactados e com pouca incidência de plantas daninhas com a finalidade de manter a estrutura do solo e de reduzir os custos operacionais (Embrapa, 2021c). Uma vez preparado, o solo tende a ser submetido cada vez menos a equipamentos, pois o trato das camadas necessárias ao desenvolvimento das raízes já ocorreu (Embrapa, 2021c). O uso do escarificador permite o preparo do solo seco e um maior rendimento operacional quando comparado ao arado.

O cultivo mínimo resulta na diminuição da compactação causada pelo tráfego de máquinas – devido ao menor tempo de operação –, na redução de gastos com combustível, reparos e manutenção nas operações de preparo do solo. A técnica mais aperfeiçoada de cultivo reduzido é a semeadura direta (Silveira, 1989). Essa técnica também contribui para a manutenção de resíduos vegetais na superfície do terreno, protegendo o solo contra a erosão (Embrapa, 2021b).

De acordo com Silveira (1989), a semeadura direta consiste na não eliminação da vegetação na renovação do cultivo, na aplicação de fertilizante e na colheita, movimentando o solo o mínimo possível. O manejo da vegetação pode ser mecânico, com roçadeira, rolo faca ou, em condições mais específicas, com grade regulada para corte do material vegetal, ou químico, usando herbicidas recomendados pela assistência técnica. O preparo do solo é localizado na cova, não havendo revolvimento do entorno, o que pode ser feito de forma manual, com enxada, ou usando uma coveadora. Essa técnica protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva devendo também ser utilizado plantas de cobertura ou de serviço para formação de palhada, sendo um exemplo a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), posteriormente realizado o preparo da cova sobre a palhada gerada pela cultura. Ressalta-se que devido às características dos produtores da região de montanha usa-se predominantemente, na eliminação da vegetação e no preparo da cova, herbicida de contato ou dessecante sob recomendação de um engenheiro agrônomo. A utilização de agrotóxicos de forma desordenada pode ocasionar problemas ambientais para a região, assim, sempre que possível recomenda-se a utilização de maquinários para colher e para triturar o material vegetal utilizado nas covas.

O sistema plantio direto (SPD) compreende um conjunto de práticas conservacionistas ou regenerativas com ampla comprovação técnico-científica no controle dos processos erosivos, na recuperação da fertilidade física, química e

biológica do solo e na sustentabilidade da produção agrícola e pecuária. No entanto, sua fixação ocorreu somente na década de 1980, em função da influência econômica negativa gerada pela erosão hídrica e do aumento na disponibilidade de máquinas agrícolas que auxiliavam nos tratos agrícolas e na fertilização do solo (Freitas, 2002). O SPD se baseia no tripé: mínimo revolvimento do solo, rotação plurianual de culturas, e a cobertura permanente do solo (não remoção dos resíduos culturais) (Freitas, 2002). Diversas outras práticas são utilizadas visando a conservação do solo, como a utilização isolada de uma das medidas que norteiam o SPD, utilização de terraços, cultivo em nível, dentre outras, preservando a saúde do solo e garantindo a viabilidade agrícola de longo prazo.

Devido ao não revolvimento do solo, as técnicas de semeadura direta ou plantio direto normalmente resultam em acúmulo de nutrientes na superfície do solo (Schick *et al.*, 2000), que pode ser alcançada quando utilizadas práticas, como o reduzido revolvimento do solo e o uso de adubos verdes para a formação de uma cobertura vegetal morta sobre a superfície (Aquino *et al.*, 2014; Assis; Antônio; Aquino, 2012; Torres *et al.*, 2005).

De acordo com Silva (2020), a principal razão para a adoção do SPD no país deve-se à intensa degradação ambiental provocada principalmente pela erosão hídrica, que elevou os custos de produção a ponto de tornar-se a atividade agropecuária insustentável. Nas últimas décadas, mesmo com os estudos comprovando a viabilidade econômica pela adoção dos princípios básicos do SPD, a maioria dos produtores nas regiões de montanha ainda optam pelo sistema de cultivo com revolvimento intensivo do solo. Com a intensificação das mudanças climáticas e com eventos extremos, os processos erosivos retornam ao centro da discussão na área de conservação do solo.

A necessidade de encontrar novas técnicas foram disseminadas, principalmente pela redução na produção de alimentos e na diminuição dos lucros no setor de grãos. Pode ser citada a utilização dos sistemas integrados, como os sistemas agroflorestais e a integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) que, além de evitar a erosão do solo, visam uma agricultura mais sustentável que protege tanto o meio ambiente quanto a produção de alimentos diversificada (Anghinoni *et al.*, 2021). Nesses sistemas, a vegetação protege o solo do impacto direto da gota de chuva e promove uma maior resistência do solo ao escoamento superficial, especialmente em áreas de montanha (Ribaski, 2008). A adoção de sistemas integrados de produção de culturas perenes ou hortaliças, com o uso de plantas de serviço, mantendo o solo coberto ao longo do ano e com diversidade de espécies, promovendo a diversidade de raízes e favorecendo a qualidade da estrutura e a saúde do solo, aumenta a resistência do solo à erosão hídrica.

Ressalta-se ainda a importância das práticas mecânicas, como o plantio em nível, o terraceamento, as bacias de contenção e canais escoadouros, não só nas áreas usadas com a agropecuária, mas nas estradas rurais em áreas de montanha.

Também vem ganhando força o cultivo de espécies perenes como, café, uva, pera e citros, entre outros, em terraços, o que exige cuidados adicionais com os tratos culturais para evitar a compactação dos canais de escoamento de água.

Controle do processo de erosão hídrica na produção de hortaliças

O cultivo de hortaliças no Brasil é caracterizado como uma atividade realizada predominantemente em pequenas propriedades, que estão, em sua maioria, localizadas próximas aos centros urbanos, e assim, de fácil escoamento até o mercado consumidor (Albuquerque, 2016). Esse padrão também é observado na Região Serrana do Rio de Janeiro, pois encontra-se inserida no coração de um dos maiores centros consumidores do país.

Uma prática muito utilizada na horticultura é, após o solo ser pulverizado com enxada rotativa, se fazer leiras com encanteirador. Essas leiras, são bastante friáves, favorecem o desenvolvimento das raízes as quais, no entanto, têm seu crescimento limitado à espessura da leira. Em geral não aprofundam, seja pelo tamanho natural das raízes, que são pequenas, seja pela maior disponibilidade de nutrientes nessa secção e, em muitos casos, pela irrigação realizada.

De acordo com Grisel e Assis (2020), no processo de gradear o solo após a aração, a eficiência do trabalho é multiplicada por 60, atingindo 0,5 HD/ha, e nesse estudo os autores buscaram estabelecer os condicionantes agroeconômicos para adoção de práticas sustentáveis nos ambientes de montanha do sudoeste do município de Nova Friburgo, RJ. Eles ainda garantem que em seguida ao uso do trator, houve a disseminação de implementos, como o arado de discos e a rotativa-encanteiradora, aumentando a eficiência total.

Na agricultura familiar, a conformação dos canteiros é realizada com o auxílio de aleiradores ou de discos (Bittencourt, 2020). O encanteirador deve permitir conformar canteiros com largura variável de 0,50 a 1,00 m e altura entre 0,10 e 0,30 m para suprir as necessidades dos agricultores familiares (Carvalho; Ribeiro *et al.*, 2014; Filgueira, 2012; Lima Junior *et al.*, 2012). Mesmo com o uso de equipamentos de menor impacto ao solo, como é o caso do encanteirador, pode-se observar erosão, especialmente em áreas declivosas e com chuvas fortes. Assim, se por um lado esse equipamento é mais prático e acessível aos agricultores, por outro, pode colaborar com a degradação e redução da capacidade produtiva do solo.

A atividade agrícola apresenta um grande potencial de degradação ambiental (Lal, 2003; Oldeman, 1994; Sharpley, 2002) quando são aplicadas práticas inapropriadas. Como consequência, pode ocorrer a degradação do solo e com isso a diminuição dos teores de carbono orgânico, componente estrutural da matéria orgânica ligada à fertilidade e à estrutura do solo. Por outro lado, a qualidade do solo pode ser restabelecida com a adoção de práticas conservacionistas na produção agrícola.

Essas práticas estimulam a remoção do CO_2 da atmosfera (gás carbônico – promotor do aquecimento global) e fixação (sequestro) no solo, ou seja, imobilizam a matéria orgânica e aumentam a fertilidade (Barreto *et al.*, 2009; Bonato; Henkes, 2013).

É sabido que a produção de hortaliças na Região Serrana do Rio de Janeiro emprega ainda poucas práticas de conservação de solo e água, em que se observa aração morro abaixo, excessivo uso da enxada rotativa e solos descobertos. Esse padrão de manejo favorece a erosão do solo, maior incidência de ervas espontâneas e o surgimento de doenças provocadas por fungos de solo (Guerra *et al.*, 2007). Em contrapartida, algumas iniciativas positivas têm sido realizadas, como a adubação verde, geralmente, e a utilização dessa prática permite a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, além de promover o controle das plantas invasoras (Aquino; Assis, 2005).

O conhecimento sobre as características das plantas utilizadas na adubação verde deve ser considerado, pois, muitas das espécies possuem especificidades que podem promover melhores resultados, se adotadas nos locais que condizem com sua adaptabilidade. Assim, a introdução de culturas de cobertura ou de serviço, como a aveia preta (*Avena strigosa*), protegendo o solo contra o impacto direto da gota de chuva, a redução do emprego de enxada rotativa por parte de alguns agricultores, e o cultivo mínimo, preparando o solo só na cova, são práticas que podem minimizar a degradação do solo (NEVES, 2000).

Controle do processo de erosão hídrica em áreas de pastagem

A associação de relevo montanhoso e ocupação dessas áreas por pastagens é muito comum no Brasil, para a retirada de madeira. No entanto, em função da degradação do solo, das dificuldades operacionais e da escassez de mão-de-obra, essas áreas foram aos poucos sendo destinadas para a pecuária extensiva com poucos cuidados e baixos investimentos devido à baixa produtividade e retorno financeiro. Essa forma de conduzir a pecuária resultou na degradação de muitos dos solos ocupados por pastagens, especialmente nas regiões de altitude do sudeste do estado do Rio de Janeiro, onde normalmente o potencial erosivo das chuvas é elevado quando comparado às regiões de menores altitudes (Gonçalves *et al.*, 2006).

Um dos fatores naturais que contribui de forma significativa para a intensificação da erosão hídrica nas pastagens em regiões montanhosas é o próprio solo, uma vez que predominam nessas áreas solos com baixa taxa de infiltração estável de água, dentre os quais destacam-se os Argissolos e Cambissolos (Drucker *et al.*, 2017). Esses solos apresentam morfologia e atributos físicos que dificultam a infiltração da água, em comparação a outras ordens de solos, como por exemplo, os Latossolos, resultando no maior escoamento superficial (Santos *et al.*, 2018). A associação de

solos com baixa infiltração, relevo montanhoso, pouca cobertura vegetal, regime de chuvas com alta intensidade e baixo investimento tecnológico favorece o escoamento superficial, levando à degradação expressiva das pastagens e por consequência dos solos sob as mesmas.

Após décadas e, em algumas localidades até mesmo por séculos, de exploração extensiva do solo sob pastagens degradadas, a adoção de estratégias para a minimização da erosão hídrica torna-se um desafio para os produtores, pesquisadores, extensionistas e o poder público. Em muitos pontos das paisagens de relevo montanhoso, o estágio de degradação já alcançou o surgimento de ravinas e voçorocas, condição em que na maioria das vezes não é mais viável economicamente a recuperação dessas áreas. Nessas condições ocorre o desprendimento de grandes quantidades de sedimentos e, por consequência, o abandono de extensas áreas. Esse material é escoado para locais de menor cota e, ao longo do tempo, pode causar o assoreamento de nascentes, córregos, riachos e rios. Ambientalmente essa degradação tem um preço muito elevado para toda a sociedade.

Nas áreas em que a degradação ainda se encontra com a erosão hídrica nas fases laminar e/ou em sulcos, algumas estratégias de manejo das pastagens e dos animais podem minimizar a erosão hídrica, estabilizar o processo de degradação das pastagens e do solo, e até mesmo reverter em médio e longo prazo o processo de degradação. Uma estratégia relativamente simples e barata é a melhoria da alimentação animal com suplementação volumosa no cocho com cana-de-açúcar e capineiras, associada à divisão das pastagens em piquetes utilizando cercas elétricas (Carvalho; Costa, 1998). Toda propriedade, exceto em situações muito específicas, têm áreas, por mais que sejam pequenas, para formar um canavial e capineiras com baixo custo. Os investimentos na divisão dos pastos em piquetes utilizando cercas elétricas são baixos, sendo viável para todos os níveis de pecuaristas. A adoção dessa estratégia reduz o superpastejo na época mais crítica do ano, que normalmente ocorre no inverno e início da primavera. A divisão das áreas em piquetes propicia às pastagens a condição para o reestabelecimento de sua parte aérea e consequentemente o fortalecimento do sistema radicular, desde que seja respeitada a fisiologia da planta, que para as gramíneas é de aproximadamente 30 dias. Com a divisão de piquetes pode-se fazer o pastejo rotacionado, onde vai passando de um piquete para o outro respeitando um período de descanso em geral de 30 dias.

Em outras situações em que o produtor possui o apoio de extensionistas, além de adotar a estratégia descrita no parágrafo anterior, utilizam práticas edáficas, como o uso de análise de solo, calagem, e adubação em doses corretas, e assim, a melhoria na pastagem torna-se ainda mais acentuada, gerando um solo mais protegido contra a erosão hídrica e consequentemente maior retorno econômico para o pecuarista. Uma alternativa que se soma à redução da pressão de uso intensivo das pastagens

e à exaustão do solo, apesar de geralmente possuir um custo mais elevado, é o melhoramento genético dos animais, uma vez que torna possível alcançar uma produção maior ou igual com um menor número de animais. Ainda, a adoção de espécies de gramíneas mais adaptadas às condições de cada região, especialmente de solo, contribui para a melhoria das pastagens e auxilia na conservação do solo.

Outras estratégias podem ser adotadas, independentemente do poder de investimento do pecuarista, seja pequeno, médio ou grande produtor. A adoção da Integração Pecuária-Floresta em áreas de relevo montanhoso pode ser uma boa alternativa para minimizar a degradação das pastagens e do solo por erosão hídrica e melhorar os rendimentos da propriedade rural. Esses sistemas integrados possuem a capacidade de potencializar os ganhos econômicos de produtores que atuam apenas na área pecuária, pois, indiretamente, a introdução de uma espécie arbórea gera aumento no conforto térmico para os animais e diretamente possibilitam a comercialização de um outro produto, como a madeira, frutas e até mesmo flores.

Um aspecto relevante dentro do contexto de recuperação/preservação do solo e por consequência dos recursos naturais, diz respeito ao "Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)" instituído pela Lei 14.119/2021 e faz referência, no art. 3°, inciso III, à "compensação vinculada a certificado de redução de emissões por desmatamento e degradação". Em muitas das áreas atualmente degradadas pelo pastejo dos animais, poderia ser estabelecido políticas públicas que adotassem o pagamento aos produtores rurais (pecuaristas) pela recuperação dessas áreas de vegetação nativa e conservação das nascentes e mananciais. Várias regiões do país adotam, há anos, as orientações da ANA quanto ao PSA, a exemplo do município de Extrema em Minas Gerais (*agua.org.br*) e várias bacias hidrográficas do estado do Espírito Santo. Exemplos de trabalhos dessa natureza precisam ser mais bem debatidos e adotados para melhorar a preservação dos recursos naturais, dentre os quais estão o solo e a água, pois sem eles não existe a possibilidade de vida no planeta, e que são intensamente impactados negativamente pela erosão hídrica em condições de clima tropical e pastagens malconduzidas, como é o caso do Brasil.

Uma outra iniciativa que tem recuperado pastagens usando sistemas silvipastoris e pagamento por serviços ecossistêmicos hídricos é o Projeto Conexão Mata Atlântica, que tem áreas em Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. No Rio de Janeiro ocorre em duas sub-bacias pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, a dos rios Pomba e Muriaé e a dos rios Preto e Paraibuna. Em São Paulo ocorre nas zonas de amortecimento de quatro Unidades de Conservação: a Área de Proteção Ambiental São Francisco Xavier no município de São José dos Campos/SP; a Estação Ecológica de Bananal, abrangendo parte do município de Bananal/SP; o Núcleo Santa Virgínia do Parque Estadual da Serra do Mar inserida nos municípios de Natividade da Serra e São Luiz do Paraitinga; e o Núcleo Itariru do Parque Estadual da Serra do Mar, abrangendo parte dos municípios de Miracatu, Pedro de Toledo, Itariri e Peruíbe

(*https://conexaomataatlantica.mctic.gov.br/cma/portal/*).

Em suma, é possível manter e melhorar do ponto de vista econômico as atividades agropecuárias e sua rentabilidade, e ao mesmo tempo preservar os recursos naturais. É preciso que todos façam sua parte: começando pelo poder público, que precisa criar as condições para que as iniciativas sejam colocadas em prática e apoiá-las ao longo do tempo, independentemente de mudanças de governantes; os produtores, que precisam se atualizar e buscar a ajuda naquilo que não conseguem desenvolver sozinhos; as instituições e entidades que produzem e detêm os conhecimentos e as tecnologias, que precisam ser colocados em prática; e a sociedade como um todo, atuando como fiscalizadora e protetora do solo.

A MITIGAÇÃO DO PROCESSO DE COMPACTAÇÃO EM SOLOS DE MONTANHA

Áreas de pastagem e áreas com lavoura – preparo convencional

A compactação em áreas cultivadas e nas pastagens é atualmente uma preocupação constante, uma vez que afeta a composição trifásica do solo e altera as relações sólidos-ar-água do solo. Segundo Kiehl (1979), o solo ideal do ponto de vista agrícola deve apresentar aproximadamente 50% de sólidos e 50% de espaço poroso, sendo este preenchido 25% por água e 25% por ar e aqueles divididos em 45% de material mineral e 5% material orgânico (Brady, 2013). Quando essas relações do solo são significativamente alteradas, uma série de problemas surge no sistema solo-planta-atmosfera, como a redução da infiltração da água, das trocas gasosas, da drenagem e do crescimento vegetal. Além disso, em casos mais extremos, é possível que ocorra dificuldade no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, gerando um impacto negativo nas relações simbióticas entre as raízes e os micro-organismos presentes no solo.

Em relação às pastagens em áreas montanhosas, a principal causa da compactação do solo, nas camadas superficiais, é o pisoteio animal quando essas áreas são submetidas à superlotação de animais. Em áreas em que a declividade permite o tráfego de máquinas e implementos agrícolas podem ocorrer pontos de compactação, especialmente nos arredores dos currais, cochos e instalações de grande porte de modo geral. Esses locais não apresentam expressão significativa em termos de área quando comparados às regiões de pastagens degradadas em campo aberto da pecuária brasileira. A reforma da pastagem com preparo do solo com arados e/ou grades aradoras no sentido do declive das encostas pode resultar na compactação do solo quando a camada revolvida é arrastada pela água das chuvas, expondo os horizontes subsuperficiais. A exposição desses horizontes,

normalmente naturalmente adensados, intensifica a compactação pelo pisoteio dos animais quando a pastagem não é plenamente restabelecida após a tentativa de reforma de pastagens em regiões montanhosas (Figura 1).

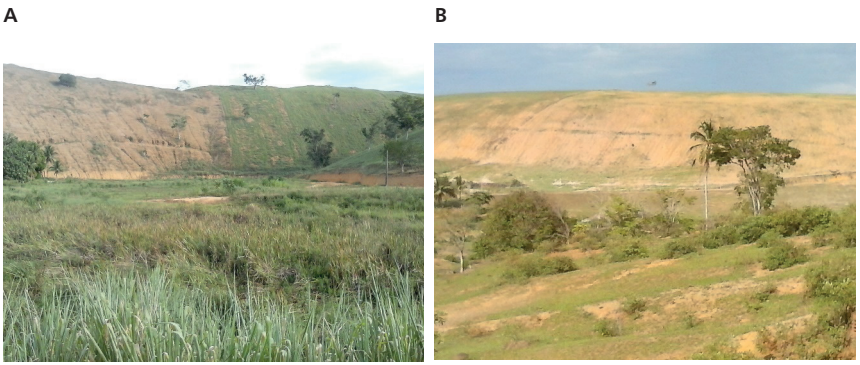


Figura 1. Tentativas frustradas de reforma de pastagens com preparo do solo no sentido do declive das encostas no período chuvoso. (A) Mimoso do Sul, ES e (B) Campos dos Goytacazes, RJ. Fotos: Nivaldo Schultz.

A mitigação da compactação do solo em pastagens pode ser alcançada com a adoção das estratégias descritas no item 2.2. "Minimizando a Erosão Hídrica em Áreas de Pastagem", em relação à diminuição do impacto da erosão hídrica. A redução dos processos que conduzem o processo erosivo nas pastagens reduz também a compactação; porquanto a erosão hídrica e a compactação são os dois tipos de degradação que mais impactam os solos utilizados na agropecuária no mundo, e se retroalimentam, ou seja, sempre que um ocorre o outro está presente ou aparecerá ao longo do tempo (FAO, 2019).

No caso da reforma de pastagens em áreas com declividade acentuada, onde obrigatoriamente as operações com máquinas e implementos precisam ser realizadas no sentido do declive das encostas, duas opções podem ser adotadas. A primeira é a reforma das pastagens em médio a longo prazo, com aplicação ou não de herbicida para controle das plantas espontâneas, calagem superficial associada ou não ao consórcio da pastagem com plantas fixadoras de nitrogênio, e o estabelecimento de um bom programa de adubação da pastagem para a sua manutenção ao longo do tempo após a reforma. Na Figura 2 é apresentada uma área experimental em que foi realizada a reforma da pastagem numa área com 36% de declividade, com aplicação de herbicida e calagem superficial, no setor de Bovinocultura da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Na Figura 2 é possível observar a área após a dessecação da vegetação espontânea e a fase inicial da germinação e desenvolvimento das plântulas e a pastagem formada com 90 dias após a semeadura. Ressalta-se que junto com a

semeadura foram aplicados 60 kg ha^{-1} de P_2O_5, na forma de superfosfato simples, e em cobertura, e aos 45 e 90 dias após a semeadura foram aplicados 40 kg ha^{-1} de K_2O e nitrogênio, na forma de cloreto de potássio e ureia.

Figura 2. Reforma de pastagem em área declivosa, após dessecação das plantas espontâneas e calagem superficial, no setor de Bovinocultura da UFRRJ. Fotos: Nivaldo Schultz.

A segunda opção, quando o produtor não pode realizar a reforma de médio a longo prazo, é fazer o preparo do solo no período de poucas chuvas (outono/inverno) e a semeadura no início do período chuvoso. Nesse caso, dependendo do surgimento de plantas espontâneas no período entre o preparo do solo e a semeadura das sementes da pastagem pode ser necessária a aplicação de herbicida, para em seguida realizar a semeadura da espécie que formará a pastagem. A adoção dessa estratégia minimiza a perda de solo pela erosão, uma vez que a semeadura é realizada logo no início do período chuvoso e a formação da pastagem ocorre num período relativamente curto, cobrindo o solo quando as chuvas tendem a ficar mais intensas, frequentes e duradouras – especialmente no final da primavera e no verão. É importante que seja realizada a adubação de semeadura com alguma fonte de fósforo, e em cobertura, aos 30 e 60 dias após a semeadura, realizar a adubação com potássio e nitrogênio. Essas adubações vão acelerar o crescimento das plantas e o fechamento da pastagem, minimizando-se com isso o escoamento superficial e a remoção da camada revolvida do solo. As doses de fertilizantes vão depender da análise de solo e da demanda nutricional da forrageira implantada (Portz *et al.*, 2013).

Com relação às áreas cultivadas em regiões montanhosas, na maioria dos casos essa compactação é resultado do afloramento do "pé-de-arado" (Figura 3A), uma vez que a camada superficial revolvida é em muitas áreas perdidas com a erosão hídrica (Figura 3).

A B

Figura 3. Áreas de cultivo de hortaliças na região de Barracão dos Mendes, Nova Friburgo, RJ. Fotos: Nivaldo Schultz.

Como essas áreas são constantemente revolvidas, o que é uma prática comum na produção de olerícolas, a camada superficial fica desagregada (solo solto até aproximadamente 20 a 30 cm de profundidade), e logo abaixo ocorre a formação do "pé-de-arado", diminuindo o fluxo interno de água, favorecendo a saturação da camada superficial, desagregada, e seu arraste pelo escoamento superficial quando ocorrem chuvas de alta intensidade, frequentes e de longa duração. Essa forma de compactação nas áreas de cultivo em relevo montanhoso é similar ao que ocorre em muitos casos nas tentativas de reformas de pastagens com preparo do solo no sentido do declive das encostas no período de chuvas intensas e frequentes. Nesses casos a compactação também ocorre em função da remoção da camada superficial e exposição das mais profundas, naturalmente mais densas, e compactam com mais facilidade com o tráfego de máquinas, implementos e o pisoteio humano quando expostas. Ressalta-se que em áreas de produção de olerícolas, devido à intensidade de operações com tratos culturais e colheitas, o pisoteio humano causa compactação significativa, especialmente entre os canteiros e nas ruas entre as linhas de plantio.

A mitigação da compactação em áreas de cultivo em regiões montanhosas pode ser alcançada com a adoção de sistemas de manejo conservacionistas, tais como o cultivo reduzido, o sistema plantio direto, a integração lavoura-floresta, a adoção de práticas conservacionistas edáficas (redução de queimadas, análise de solo e calagem, adubação orgânica e mineral e adubação verde), práticas vegetativas (reflorestamentos, cordões de vegetação, alternância de capinas, roçadas e dessecação com herbicidas para formação de palhada na superfície do solo) e as práticas mecânicas (terraceamento, quando possível, e bacias de captação e barraginhas para reter o excesso de água do escoamento superficial).

Porém é preciso ter a noção clara de que a mitigação de todos os impactos ambientais e a melhoria da qualidade de vida da população rural, e por consequência da urbana, só serão possíveis se os gestores públicos entenderem o papel e a

importância da Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) no Brasil, que é um país com grande potencial agrícola. Alguns estados ainda conseguem desenvolver bons trabalhos através de suas empresas públicas de ATER, porém ainda em grande parte dos estados a difusão de conhecimento ainda não é feita de forma adequada, e em função disso, muitos produtores adotam manejos que não deveriam mais ser empregados, tendo em vista os avanços que ocorreram na pesquisa agropecuária brasileira nas últimas décadas. A reestruturação dos serviços de ATER é urgente, não só do ponto de vista econômico, mas principalmente ambiental. Através de um bom trabalho de ATER é possível organizar com os produtores em associações a promoção de treinamentos com "Dias de Campo", cursos e viagens para trocas de experiências. A atuação efetiva da ATER promoverá melhorias de forma geral e significativa na qualidade de vida da população das áreas rurais do Brasil e a preservação dos recursos naturais, dentre os quais destaca-se o solo e a água, vitais para todos os seres vivos do planeta. Vale ressaltar, que o papel das novas tecnologias pode facilitar a comunicação contínua entre os produtores e os profissionais das ATER, facilitando o contato síncrono, assim como uma maior área de abrangência pelo mesmo profissional, visto o reduzido número de profissionais atualmente em exercício.

Diferentes tipos de preparo do solo e seus benefícios à estrutura do solo

A estrutura do solo é em grande parte definida pelo tipo de manejo e ocupação das áreas agrícolas, os quais estão diretamente relacionados aos tipos de preparo adotados pelos produtores rurais. A produção agropecuária pode ser desenvolvida com base em sistemas de preparo convencional (SPC) do solo, onde normalmente são utilizados tratores e implementos agrícolas, tais como arados, grades aradoras e niveladoras e/ou enxadas rotativas para fazer o preparo do solo; ou com sistemas mais conservacionistas, nos quais esses implementos são pouco utilizados e até mesmo não são utilizados, como por exemplo, no sistema plantio direto (SPD) e nos sistemas agroflorestais (SAF) (Bertoni; Lombardi Neto, 1990).

Para a formação e estabilização dos agregados do solo é necessária à presença da matéria orgânica que atua como um dos agentes cimentantes após sua decomposição e liberação de substâncias húmicas no solo. A manutenção do solo coberto pelas plantas, sejam vivas ou mortas, é fundamental para a preservação da agregação do solo e pode refletir nos índices de produtividade das culturas de interesse econômico. Solos bem estruturados apresentam caraterísticas favoráveis ao cultivo, tais como infiltração, armazenamento de água, drenagem, trocas gasosas, e baixa resistência à penetração das raízes.

A formação e estabilização dos agregados do solo e por consequência da estrutura dependem do manejo adotado para os cultivos. No SPC, onde ocorre intenso revolvimento do solo pelo menos uma vez por ano, a formação dos agregados e a estabilização da estrutura do solo são desfavorecidas. Nos sistemas conservacionistas, como o SPD, em que o revolvimento do solo é realizado somente nos sulcos de semeadura, o contrário ocorre, ou seja, a formação dos agregados e sua estabilização é favorecida.

Entre os dois extremos, que são o SPC com revolvimento intensivo do solo todos os anos e os SPD e SAF, nos quais ocorre pouca ou nenhuma movimentação do solo, encontra-se o Sistema de Cultivo Reduzido ou Mínimo, no qual ocorre o revolvimento, porém com menor intensidade, menor frequência e na maioria das vezes nas camadas mais superficiais e localizada nos sulcos de plantio. Esse sistema torna-se uma alternativa para algumas culturas que necessitam do solo revolvido, como é o caso de algumas hortaliças, principalmente aquelas cultivadas em canteiros.

O revolvimento excessivo dos solos agrícolas poderia ser evitado em muitas situações. No entanto, antes da implantação das lavouras essa prática é quase uma tradição ou uma questão cultural para muitos produtores e técnicos, mesmo sem a sua necessidade. Novamente esbarra-se na falta de difusão de conhecimento, o qual poderia ter sido levado aos agricultores através da ação extensionista, com criação de áreas experimentais nas quais poderia ser repassado informações aos produtores rurais, das melhores práticas e técnicas de manejo do solo, contribuindo dessa forma para minimizar a degradação. Houve um grande avanço nas pesquisas sobre práticas e técnicas de manejo do solo e de minimização dos impactos que estas podem causar as áreas agrícolas nas últimas décadas mostrando que é possível produzir com um mínimo revolvimento do solo, e a prova disso é a evolução dos sistemas conservacionistas, com destaque para o SPD, o SAF, a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, além dos Sistemas Agroecológicos (Leite; Maciel; Araújo, 2014; Bertol *et al.*, 2019). Entretanto, esse conhecimento científico não está sendo levado em sua plenitude até os produtores rurais, por vários fatores, sendo necessário o desenvolvimento de políticas públicas para que isso venha a ocorrer de forma mais efetiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocupação inicial de áreas de relevo acidentado no ambiente de montanha com sistemas baseados na aração e gradagem, muito frequentemente executadas morro abaixo, acelerou a erosão do solo e a perda da boa fertilidade natural, promovendo perda dos valiosos serviços ecossistêmicos ofertados, como a garantia de produção de água em quantidade e de qualidade, o sequestro de carbono e a preservação da

rica fauna e flora. Além da erosão, a compactação do solo, causada pelo tráfego de máquinas agrícolas e pelo pisoteio de animais, é outro problema grave em áreas de montanha, reduzindo a infiltração de água e o crescimento das raízes.

A adoção de práticas e técnicas conservacionistas de manejo do solo, como o sistema plantio direto, o cultivo mínimo, a integração agricultura-pecuária-floresta, sistemas agroflorestais e sistemas orgânicos, promovendo a diversificação da produção, sempre associados a práticas, como cultivo em nível, terraceamento, canais escoadouros e bacias de captação, é fundamental para reduzir a erosão e promover a regeneração desses solos. Dessa forma, a avaliação da aptidão agrícola das terras, o planejamento do uso conservacionista do solo baseado no CAR, com zonas de manejo aplicando sistemas conservacionistas nas áreas de montanha constituem solução para mitigar a erosão e compactação nessas áreas.

A falta de conhecimento técnico e o acesso às práticas e técnicas de manejo do solo são desafios para a adoção de uma agricultura sustentável e regenerativa nas áreas de montanha. Políticas públicas e programas de incentivos são fundamentais para garantir o fornecimento de serviços ecossistêmicos pelos solos das áreas montanhosas brasileiras, garantindo a sustentabilidade social, econômica e ambiental, a segurança alimentar e a segurança de alimentos oferecidos à população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 6, p. 136-141, 2002.

ALBUQUERQUE, J. D. R. **Agricultura familiar**: análise comparativa da produção de hortaliças na várzea e terra firme de Parintins, AM, 2016. Disponível em: http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5496. Acesso em: 05 maio 2025.

ALMEIDA, W. S. de. Índices de desagregação e parâmetros de chuva intensa no Estado do Rio de Janeiro e efeito da chuva simulada na erosão hídrica e infiltração de água no solo. 2018. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018.

ANGHINONI, G.; ANGHINONI, F. B. G.; TORMENA, C. A.; BRACCINI, A. L.; de CARVALHO MENDES, I.; ZANCANARO, L.; LAL, R. Conservation agriculture strengthen sustainability of Brazilian grain production and food security. **Land Use policy**, 108, DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105591. 2021.

AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. S. T.; PEREIRA, M. S.; TEIXEIRA, O. A. **Disseminação da aveia preta como cobertura do solo em sistemas de cultivo de hortaliças em unidades de produção familiar na Região Serrana Fluminense**. Relato de Experiência Foz do Iguaçu, PR. SBSP – Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 2014.

AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. **Agroecologia** – Princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 517 p., 2005. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1079843/1/AgroecologiaPrincipioseTecnicas-v2.epub

ASSIS, R. L. de; ANTÔNIO, G. J. Y.; AQUINO, A. M. de. Ambientes de Montanha: Experiência de Desenvolvimento Endógeno e Agricultura na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Cultura Científica**. Brasil. n. 17, p. 10-17. ISSN 1657-463X, 2019.

BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. **Sequestro de carbono**. Enciclopédia Biosfera, 2009.

BATISTA, R. A. W.; NERY, L. M.; MATUS, G. N.; SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Estimativa do fator de erosividade do solo da região do Vale do Ribeira paulista, Brasil. **Formação (Online)**, 28(53), 2021. https://doi.org/10.33081/formacao.v28i53.8015

BERTOL, O. J.; COLOZZI FILHO, A.; BARBOSA, G. M. de C.; SANTOS, J. B. dos; GUIMARÃES, M. de F. (Org.). **Manual de manejo e conservação do solo e da água para o Estado do Paraná**. Curitiba: Cubo, 2019. v. 1. 325 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Ícone. São Paulo, 335 p. 1990.

BITTENCOURT, D. M. C. (Ed.). **Estratégias para a Agricultura Familiar Visão de futuro rumo à inovação**. Brasília, DF: Embrapa, (Embrapa-SPD. Texto para Discussão, 49). 298 p. 2020 https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214670/1/Texto-Discussao-49-ed-01-2020.pdf

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T. J. C.; SKORA NETO, F.; RIBEIRO, M. F. S.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking stock of the Brazilian "Zero-till revolution": A review of land mark research and farmers' practice. **Advances in Agronomy**, v. 91, p. 1-64, 2006.

BONATO, J. A.; HENKES, J. A. O Sequestro de carbono (CO_2) proporcionado pelo sistema Silvipastoril, com ênfase no aumento da renda familiar, com integração das atividades lavoura e pecuária e a produção da madeira, carne e leite. **Revista Gestão Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 222-249. abr./set. 2013.

BRADY, N. C.; WEIL, R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, tradução de Igor Fernando Lepsch. 684 p, 2013.

BRASIL. IBGE. Censo Agropecuário, 2019. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/nova-friburgo/panorama. Acesso em: 08 jun. 2023, às 10h.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 14 p. 99-105, 1990.

CARVALHO, A. D. F.; SILVA, G. O.; PEREIRA, R. B.; PINHEIRO, J. B.; VIEIRA, J. V. Capacidade combinatória em cenoura para componentes de produção e tolerância à queima-das-folhas. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 32, n. 2, p. 190-193, jun. 2014.

CARVALHO, A.; RIBEIRO, C. D. M.; ROCHA, W.; MARTINS, C.; SOBRINHO, F. Erosão potencial laminar hídrica em um latossolo vermelho amarelo sob três formas de cultivo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 7(01), p.194-206, 2014.

CARVALHO, L. O. D. M.; COSTA, N. A. **Sistema de manejo rotacionado intensivo**. Manual Técnico. Embrapa. Manaus-AM. 47p, 1998.

CECNA. Centro de Estudos e Conservação da Natureza: 15ª visita técnica do Diagnóstico de Campo Turístico – 2009. Disponível em: http://cecna.blogspot.com/2009/12/no-dia-29-de-novembro-de-2009-foi.html. Acesso em 08 jun. 2023, às 10h32.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27, p. 743-753, 2003.

COIMBRA, J. L. M.; WILDNER, L. P.; DENARDIN, R. B. N.; GATIBONI, L. C. Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia preta, em sistema plantio direto. **Biotemas**, v. 22, n. 2, p. 45-53, 2009.

DANTAS, M. E.; FERREIRA, C. E. O.; SHINZATO, E. Relevo (Cap. 2). *In:* PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; SILVA NETO, E. C. (Eds.). **Solos do Rio de Janeiro** - Gênese, classificação e limitações ao uso agrícola. Ponta Grossa, PR: Atena, 2023. doi.org/10.22533/at.ed.273232510

DERPSCH, R. Importancia de la siembra directa para obtener la sustentabilidad de la producción agrícola. *In:* CONGRESO NACIONAL DE ASOCIACIÓN ARGENTINA DE PRODUCTORES EN SIEMBRA DIRECTA, 5, **Anales...** 1997, Mar del Plata. Anais. Rosario: Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. p.153-176, 1997.

DRUCKER, D. P.; PINTO, D. M.; FIDALGO, E. C. C.; CUSTÓDIO, D. O.; VICTORIA, D. de C.; ALMEIDA, B. T.; SIMÕES, M.; MACHADO, C. R. de L.; BRANDÃO, V. V. dos S.; DART, R. de O.; AGLIO, M. L. D.; RASCHE, F.; LAFORET, M. R. C.; BETTIOL, G. M.; PEREIRA, S. E. M.; BRANDÃO, Z. N.; GARRASTAZU, M. C.; ALBA, J. M. F.; COSTA, F. A. da; TORRES, R. C.; DOMPIERI, M. H. G.; SAMPAIO, S. M. N.; MARTINS, E. C.; PIEROZZI JUNIOR, I.; BAYMA-SILVA, G.; GALINARI, G.; FIORINI, F. B.; TAKEMURA, C. M.; da CRUZ, S. A. B.; HOLLER, W. A.; DE OLIVEIRA, L. H. GeoInfo - infraestrutura de dados espaciais abertos para a pesquisa agropecuária geoInfo. **Rev Eletrônica Comun, Inf Inov Saúde**, 11:1-17p, 2017.

DUARTE, M. L.; SILVA FILHO, E. P.; BRITO, W. B. M.; SILVA, T. A. Determinação da erodibilidade do solo por meio de dois métodos indiretos em uma bacia hidrográfica na região sul do estado do amazonas, brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 21(2), 2020. https://doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1533

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plantio Convencional**. EMBRAPA Milho, 2021a. Disponível em: https://www.embrapa.br/. Acesso em: 12 fev. 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plantio Direto**. EMBRAPA Milho e Sorgo, 2021b. Disponível em: https://www.embrapa.br/. Acesso em: 20 fev. 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Preparo do Solo**. EMBRAPA Milho e Sorgo, 2021c. Disponível em: https://www.embrapa.br/. Acesso em: 20 jun. 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Flora Apícola. Embrapa Meio Norte, 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/meio-norte/flora-apicola. Acesso em: 12 abr. 2020, às 8h.

EMBRAPA. **Trajetória da agricultura brasileira**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira

FAO –Food and Agriculture Organization. 2019. Erosão do solo: o maior desafio para o manejo sustentável do solo. Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas. Disponivel em:http://www.fao.org/agora/fundo/publications/pt/ Acesso: 16 julho. 2025.

FERREIRA, C. S.; LIMA, S. S.; SAMPAIO, I. U. M.; RAMOS, A. P. dos; COELHO, I. S.; PEREIRA, M. G. **Agricultura sustentável em montanha** – economia ecológica, território e desenvolvimento sustentável; perspectivas e desafios. Vol. 3, Editora Científica Digital, p. 162-179, 2023.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. rev. e ampl. 421 p. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2012.

FREITAS, G. R. Preparo solo. *In:* PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar.** Cultivo e utilização. 4. Campinas, S.P: Fundação CARGIL, v. 1, cap III. Técnicas culturais básicas, p. 271-283, 1987.

FREITAS, P. L.; LANDERS, J. N. The transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of Zero Tillage Conservation Agriculture. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 1, p. 35-46, Mar. 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30012-5

FREITAS, P. L. Harmonia com a natureza: a adoção do Sistema Plantio Direto pode garantir competitividade à agricultura brasileira, em especial na região dos cerrados. **Agroanalysis** (FGV), v. 22, p. 12-17, 2002.

GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 269-276, 2006.

GRISEL, P. N.; ASSIS, R. L. Condicionantes agroeconômicos para adoção de práticas sustentáveis em ambientes de montanha em Nova Friburgo (RJ). Pesquisas Agrárias e Ambientais. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 5, p. 687-697, set./out. 2020.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**, 16, p. 32-37. 2005.

GUERRA, J. G. M.; NDJAYE, A.; ASSIS, R. L.; ESPINDOLA, J. A. A. Uso de plantas de cobertura na valorização de processos ecológicos em sistemas orgânicos de produção na região serrana fluminense. **Agriculturas**. Rio de Janeiro, v. 4, n. 1. p. 24-28, 2007.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. C. A erosão e seu impacto. p. 47-60. *In:* MANZATTO, C. V.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. (Ed.) **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2002. 174 p.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA W.M. Sistema de manejo de solos e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.23, p.145-154, 1999.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

LAL, R. Soil erosion and the global carbon budget. **Environment International**, 29(4), p. 437-450, 2003.

LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (Eds.). **Agricultura Conservacionista do Brasil**. Brasília, DF, Embrapa, 2014. 598 p.

LIMA JUNIOR, J. A. L.; PEREIRA, G. M.; GEISENHOFF, L. O.; SILVA, W. G. da; BOAS, R. C. V.; SOUZA, R. J. Desempenho de cultivares de cenoura em função da água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, maio 2012.

MARTINS, C. M. S. **Estoques de carbono no solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Brasil**: uma meta-análise. 2017. 90f. Dissertação (Meteorologia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/16324

MATHEUS, A. C. **A importância da adubação verde na diversificação da produção agrícola**: Uma abordagem participativa em assentamento rural na Baixada Fluminense. Seropédica, RJ. 2016. 58f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.

MIRANDA, J. P. L. **Propriedades físico-hídricas de um solo submetido a cultivos perenes e a pousio em ambiente agrícola serrano**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 135p, 2008.

MIRANDA, R. S.; FARIA E SILVA, V.; MEIRELLES, E. O.; COSTA, L. S. Corredores ecológicos potenciais entre duas unidades de conservação na região serrana e centro-sul fluminense. **Natural Resources**, 13 (1), 2023. https://sustenere.inf.br/index.php/naturalresources/article/view/8074/4717

MUEHE, D. C. E. H. **Erosão e propagadação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1, p. 475. 2006.

NEEDELMAN, B. A. What are Soils? **Nature [online]** 4. 2013. Disponível: http//:www.nature.com/scitable/knowledge/library/what-are-soils-67647639

OLDEMAN, L. R. The global extent of soil degradation. *In:* GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. (Eds.). **Soil Resilience and Sustainable Land Use.** Wallingford: CabInternational, p. 99-118, 1994.

OSTLE, N. J.; LEVY, P. E.; EVANS, C. D.; SMITH, P. UK land use and soil carbon sequestration. **Land Use Policy**, v. 26S, p. S274-S283, 2009.

PANAGOS, P.; BORRELLIA, P.; MEUSBURGER, K.; ALEWELL, C.; LUGATO, E.; MONTANARELLA, L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European 560 Scale. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 561 Environmental Geosciences, **Land Use Police**, University of Basel, Switzerland, p. 38-50, 2015.

POLIDORO, J. C.; FREITAS, P. L.; HERNANI, L. C.; ANJOS, L. H. C. D.; RODRIGUES, R. D. A. R.; CESÁRIO, F. V.; ANDRADE, A. G. D.; RIBEIRO, J. L. Potential impact of plans and policies based on the principles of Conservation Agriculture on the control of soil erosion in Brazil. **Land Degradation & Development**, 32(12), p. 3457-3468. 2021. DOI:10.1002/ldr.3876

PORTZ, A.; RESENDE, A. S.; TEIXEIRA, A. J. *et al.* Recomendações de adubos, corretivos e de manejo da matéria orgânica para as principais culturas de Estado do Rio de Janeiro. *In:* FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E. *et al.* **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Seropédica: UFRRJ, 2013. Cap. 14, p. 257-414.

RAJBANSHI, J.; DAS, S.; PAUL, R. Quantification of the effects of conservation practices on surface runoff and soil erosion in croplands and their trade-off: A meta-analysis. **Science of The Total Environment**, 864, 161015, 2023.

RÉFFEGA, A. **Conservação, uso sustentável do solo e agricultura**. Edição: Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança, 1997, 41 p.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, D. A.; MCCOLL, D. K.; YODER, D. C. (coordinators). "**Predicting Soil Erosion by Water**: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)." USDA Agr. Handb. n. 703, 1997.

RIBASKI, J. Sistemas agroflorestais: benefícios socioeconômicos e ambientais. *In:* SIMPÓSIO SOBRE REFLORESTAMENTO NA REGIÃO SUDOESTE DA BAHIA, 2. **Anais...** Vitória da Conquista. Memórias. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 89-101. 2005. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/314137/1/SistemasAgloflorestais.pdf

RUBIRA, F. F.; BERTOL, I.; FIORIN, R. A.; BARBOSA, F. T.; COGO, N. P. Perdas de solo e água em função da manutenção da compactação superficial e subsuperficial do solo após o preparo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, vol. 40, e0150081, 2016.

SANT'ANNA, G. S. L.; FRANZAN, B. C.; BIASSI, D.; dos SANTOS, C. M.; SCHULTZ, N.; ZONTA, E.; da SILVA COELHO, I. Short-term effect of no-tillage management on the chemical attributes and bacterial diversity in soils in an organic production system. *Soil Security*, *16*, 100143, 2024.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 531 p.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico Alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. I - Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 427-436, 2000.

SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J. G.; BLUMENSCHEIN, F. N.; DALL'ACQUA, F. M. **Técnicas de preparo do solo**: efeitos na fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação de água. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 26p, 1984.

SHARPLEY, A. N. Introduction: agriculture as a potential source of water pollution. *In:* HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. (Eds.) **Agriculture, hidrology and water quality**. Cambridge: CABInternational, p. 4-5, 2002.

SILVA, C. S. R. A. **Qualidade do solo em um sistema de plantio direto de hortaliças, sob produção orgânica em Seropédica (RJ)**. Dissertação (Agronomia-Ciência do Solo) – Seropédica, RJ. 6 f., 2020.

SILVEIRA, G. M. **O preparo do solo**: implementos corretos. Coleção do agricultor – mecanização. 2. ed. Rio de Janeiro. Publicação Globo Rural, 1989.

STRALIOTTO, R.; FREITAS, P. L. A ciência do solo no Brasil: linha do tempo. *In:* TORRES, L. A.; CAMPOS, S. K. (Eds.). **Mega tendências da Ciência do Solo 2030**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. E-book. cap. 1. p. 17-21. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1142164/1/Megatendencias-daCiencia-do-Solo-2030.epub

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.

VENDRUSCOLO, J.; PACHECO, F. M. P.; RODRIGUES, A. A. M.; RAMOS, H. F.; ROSA, D. M.; CAVALHEIRO, W. C. S. Características morfométricas da microbacia do Médio Rio Escondido, Amazônia Ocidental, Brasil/ Morphometric characteristics of the Médio Rio Escondido microbasin, Western Amazon, Brazil. **Brazilian Journal of Development**, 6(1), 565-585, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-040

VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. 2016.

ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; COSTA, A. G. F.; SILVA, O. R. R. F.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, C. A. D.; BELTRÃO, N. D. M.; ALVES, I.; CORDEIRO JÚNIOR, A. F.; CARTAXO, W. V.; RAMOS, E. N. **Práticas de conservação de solo e água**. 2012.

WIKIPEDIA. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Nova_Friburgo. Acesso em: 08 jun. 2023, às 9h10.

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html. Acesso em: 16 out. 2018, às 21h.

http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/agricultura/agr_acoes_resultados/agr_solucoes_cases_plantio2/. Acesso em: 17 jun. 2023, às 21h45.

CAPÍTULO 6

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS EM VINHEDOS DAS REGIÕES DE ALTITUDE DE SANTA CATARINA

https://doi.org/10.22533/at.ed.00000000000

Denilson Dortzbach
Pesquisador
Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular
Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Renato Sinquini de Souza
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Erico Albuquerque dos Santos
Doutor em Agroecossistemas.
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, RS

Luana Moreira Florisbal
Professora Associada do Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Arcângelo Loss
Professor Associado do Departamento de Engenharia Rural
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

INTRODUÇÃO

O cultivo com uvas viníferas (*Vitis vinifera*) em regiões de altitude do estado de Santa Catarina ainda é considerado recente, sendo observado que os primeiros experimentos nessa região ocorreram na década de 1990, com implantação dos primeiros vinhedos comerciais no ano de 2000 (Cordeiro, 2006). Com o passar do tempo, despertou-se o interesse de parte do setor agrícola para produção de vinhos finos nessas regiões. Esse cultivo ocorre, predominantemente, em pequenas e médias propriedades vitícolas, onde os vinhedos são estabelecidos em áreas declivosas, em solos pouco profundos, distróficos e pedregosos (Dortzbach, 2016; Santos *et al.*, 2023, 2024).

As uvas produzidas apresentam características próprias e distintas das demais regiões produtoras do Brasil, pois nessas regiões o verão é mais ameno, assim, o ciclo vegetativo da videira é maior e com maturação fenológica completa, o que permite a elaboração de vinhos de alta qualidade (Borghezan *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2019).

Nessas regiões de altitude, os vinhos elaborados, apesar do jovem histórico de produção (~25 anos), vêm alcançando posição de destaque no cenário nacional e internacional pela sua alta qualidade. Entretanto, a competitividade do setor tem desafiado os produtores a estabelecerem estratégias, que observem de forma mais eficiente os seus recursos e desse modo absorvam uma parcela distinta do mercado consumidor de vinhos, mantendo a sustentabilidade competitiva em longo prazo (Tonietto; Falcade, 2003; Santos *et al.*, 2019)

No mercado mundial, os países que desfrutam de maior prestígio são aqueles que se preocupam com a produção de vinhos de melhor qualidade, regionalmente, e consolidados com reconhecimento, como indicações geográficas (IGs), amparadas por legislações específicas (Llopis, 1997; Santos *et al.*, 2019). Os vinhos possuem características organolépticas e sua qualidade e tipicidade são fortemente definidas pelos fatores naturais de produção que são a expressão dos fatores naturais, tais como geográficos (rocha, relevo, solo, vegetação), climáticos (temperatura, precipitação, radiação solar), e pelos fatores humanos (saber-fazer) peculiares de cada região (Tonietto, 2001; Dortzbach *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2024). Esses fatores, quando analisados em conjunto definem o *terroir* de uma região.

Dessa forma, vinhos de diferentes regiões, elaborados com a mesma tecnologia, resultam em produtos diferenciados, com características próprias. Assim, a IG identifica que alguns produtos de determinados lugares apresentavam qualidades particulares, atribuíveis à sua origem geográfica, sendo denominados com o nome geográfico que indica sua procedência, constituindo numa das formas especiais de proteção aos produtos, como aconteceu com os vinhos de altitude, que foram reconhecidos em 2021 com a Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina

(INPI, 2021). A implantação de uma IG é uma possibilidade para a cultura da videira, pois representa uma das formas especiais de proteção aos produtos, que visam, principalmente, destacar seus aspectos distintivos, como a identificação de recursos edafoclimáticos diferenciados, capazes de gerar vantagens competitivas (Pandolfo; Vianna, 2020).

A caracterização dos ecossistemas através dos fatores ambientais com influência significativa na produção da uva e do vinho é um dos componentes necessários à diferenciação dos produtos. Nesse sentido, um dos aspectos de grande importância a ser considerado é a caracterização dos solos onde são produzidas as uvas e, posteriormente, os vinhos. Porém, no tocante a esse aspecto os resultados experimentais ainda são escassos, consequência do recente histórico de ocupação das áreas e produção. Segundo Miele *et al.* (2010) e Santos *et al.* (2019), ainda existem poucos estudos no Brasil que integrem regiões, variedades e vinícolas, fundamentais para delimitação de IGs e caracterização de seu *terroir.*

Quanto maior a variação dos fatores de formação do solo, principalmente do material de origem, clima e do relevo, maior será a heterogeneidade dos solos em uma determinada área (Ross; Moroz, 1997). Além disso, nos solos cultivados adiciona-se a essa heterogeneidade, o efeito antrópico como fonte adicional de variação. Assim, os solos variam continuamente no espaço, sendo a determinação das propriedades químicas e físicas do solo fatores básicos na condução de parreirais e planejamento da produção, cujo intuito é potencializar a qualidade na produção da uva e estabelecer tipicidade dos produtos.

De acordo com a gênese dos solos da região da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina, destaca-se a influência pelos fatores material de origem, clima e relevo, que refletiram em solos com elevados teores de argila, baixa soma e saturação por bases, elevados teores de alumínio e de carbono. A maior parte dos solos da região pertence à classe dos Cambissolos (63%). Entretanto, ocorrem Nitossolos (29%) e Latossolos (5%), que indicam a influência do relevo e clima na expressão de processos pedogenéticos. Além de Neossolos Litólicos (3%) em áreas com relevo forte-ondulado (Dortzbach, 2016).

Devido à escassez de estudos na região, as recomendações para a cultura da videira são baseadas muitas vezes em informações de literatura e de outras fruteiras. Isso gera indefinições, inclusive sobre quais nutrientes haveria maior probabilidade de resposta à adubação (Dal Bó, 1992). A aplicação balanceada de nutrientes, baseadas em análises químicas do solo e de tecido está entre as inúmeras práticas culturais que objetivam aumentar a produtividade e a qualidade da uva (Tecchio *et al.*, 2006).

A importância dos atributos do solo no cultivo de uva para produção de vinho é reconhecida pela maioria dos produtores, mas é geralmente tratada como um fator secundário quando comparado ao clima e ao manejo da copa (Santos, 2006). O fornecimento de nutrientes na quantidade adequada, e a adoção de práticas adaptadas de manejo do solo contribuem para elevar o rendimento e a qualidade de uvas para vinificação. De acordo com Fráguas *et al.* (2002), os vinhedos brasileiros poderiam produzir frutos com maior qualidade caso fossem adubados adequadamente, e caso esta adubação seja focada na qualidade do vinho que se deseja e não pelos níveis de produção (Fogaça, 2005).

Os melhores solos para o cultivo da videira são os que possuem textura média, com baixos ou médios teores de matéria orgânica. Não devem apresentar problemas que afetem o desenvolvimento da videira, como alumínio trocável e salinidade. Entretanto, em solos muito férteis também não é ideal o cultivo da videira, pois propiciam excesso de vigor vegetativo, o que é desfavorável à qualidade da uva e, consequentemente, do suco e do vinho. Vinhedos destinados à produção de uva de mesa em geral são instalados em solos mais férteis que aqueles destinados à elaboração de vinho (Embrapa, 2008).

Os atributos físicos e químicos dos solos influenciam no comportamento da videira, sendo que profundidade, estrutura e textura são os atributos físicos mais importantes. Por outro lado, a reação do solo (pH) e a disponibilidade de nutrientes são os atributos químicos de maior relevância para a cultura (Melo, 2003). A estrutura física do solo, o regime hídrico, o material de origem, a composição química, o pH, a profundidade e outros fatores edáficos interferem no desenvolvimento da videira e na composição da uva (Fregoni, 2005; Santos *et al.*, 2019).

Os maiores rendimentos são obtidos em solos profundos e férteis, mas as uvas de maior qualidade são obtidas em solos menos profundos e com uma menor fertilidade natural. O sistema radicular das videiras raramente excede 1,20 m e 90% das raízes ocorrem comumente nos primeiros 60 cm de profundidade. A maior parte das raízes responsáveis pela nutrição está entre 20 e 60 cm de profundidade. Um mínimo de 30-40 cm do solo permeável e sem camadas obstrutivas é necessário para o crescimento ótimo da videira (Dortzbach, 2016; Santos *et al.*, 2019, 2024).

Nesse sentido, a hipótese estabelecida no presente estudo foi que a avaliação de atributos do solo em vinhedos de uma determinada região, contribui para a identificação de propriedades vitícolas com características específicas, que podem refletir na tipicidade do vinho nelas produzido, subsidiando uma IG. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar os atributos físicos e químicos de vinhedos de altitude localizados no estado de Santa Catarina, distinguindo propriedades que apresentem similaridades quanto a esses atributos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

As propriedades vitícolas estão situadas em regiões de altitude no Meio Oeste (1 a 15) e na Serra Catarinense (16 a 20), localizadas entre as altitudes 829 e 1.007 m (propriedades 1 a 17) e 1.243 a 1.425 m (propriedades 16 a 20) (Tabela 1). Maiores informações das propriedades vitícolas podem ser consultadas em Dortzbach (2016) e Santos *et al.* (2024). O tipo climático predominante é o 3A, clima Cfb, ou seja, clima temperado constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco (temperatura média do mês mais quente < 22 ºC (Braga;Ghellere, 1999), com exceção da propriedade 14, que está localizada numa altitude de 698 m e tipo climático 2C (Cfa, ou seja, clima subtropical constantemente úmido, sem estação seca, com verão quente com temperatura média do mês mais quente > 22 ºC), e, portanto, não se enquadra na denominação de região de altitude, conforme Pandolfo e Vianna (2020).

O tamanho das áreas dos vinhedos varia de 0,50 a 9,20 ha na região do Meio Oeste, sendo que destas, 8 propriedades possuem áreas inferiores a 2,0 ha. Já na área da Serra Catarinense verificam-se áreas maiores, com vinhedos variando de 5,4 a 26,3 ha (Tabela 1).

O número de setores é variável, sendo de 1 a 20 no Meio Oeste e de 10 a 39 na Serra Catarinense. Os setores refletem as diferentes variedades que estão sendo produzidas, que por sua vez possuem necessidades nutricionais diferenciadas, distintas épocas de colheita e demais tratos culturais com datas variadas, o que tende a remeter a distintas datas de adubação e tratamentos fitossanitários. Apesar de pequenas, observa-se que em muitas propriedades ocorreu ampliação das áreas produzidas nos últimos anos. Na Serra Catarinense, mais especificamente no município de São Joaquim, todas as propriedades (15 a 20) estão localizadas em áreas declivosas e solos rasos (Neossolos e Cambissolos), o que requer especial atenção para o manejo devido à maior suscetibilidade à erosão.

Tabela 1. Propriedades vitícolas do Meio Oeste e Serra Catarinense com sua altitude média (AM), tipo climático (TC), área plantada total em hectares (AP), setores (ST), variedades (VR), área plantada por variedade (AV), ano de implantação (AI) e espaçamento entre plantas em metros (EP)

Propr.	AM	TC	AP	ST	VR	ÁV	AI	EP
1	934	3A	7,3	17	SB	1,3	2010	1,0x3,0
					SB	0,7	2009	1,0x3,0
					SB	0,2	2006	1,0x3,0
					CD	0,5	2010	1,0x3,0
					CD	0,6	2008	1,0x3,0
					ML	0,9	2008	1,0x3,0

					ML	0,3	2009	1,0x3,0
					PN	0,4	2008	1,0x3,0
					CS	1,4	2007	1,0x3,0
					OT	0,9	2009	1,0x3,0
2	901	3A	2,4	5	CS	0,5	2010	1,0x3,5
					ML	0,1	2010	1,0x3,5
					CD	0,5	2005	1,0x3,5
					SB	0,8	2010	1,0x3,5
					OT	0,5	2010	1,0x3,5
3	829	3A	1,4	5	CS	0,1	2005	2,0X3,0
					OT	1,3	2005	2,0X3,0
					OT	7,9	2005	1,2X3,0
4	972	3A	2,2	16	CS	0,4	2003	1,7X3,2
					OT	0,8	2006	1,2X3,0
					OT	1,0	2003	1,7X3,2
5	863	3A	1,0	2	CS	0,5	2007	1,5X3,1
					ML	0,5	2007	1,5X3,1
6	912	3A	4,0	10	CS	1,4	2003	1,8X3,2
					CS	0,6	2005	1,5X2,8
					ML	1,0	2005	1,5X2,8
					OT	0,2	2005	1,5X2,8
					SB	0,3	2005	2,0X3,0
					CD	0,5	2005	1,5X3,0
7	970	3A	1,3	3	CS	1,0	2003	1,7X3,0
					OT	0,3	2011	2,0X3,0
8	885	3A	1,1	2	ML	0,3	2007	1,3X3,0
					CS	0,8	2007	1,5X3,0
9	848	3A	1,0	2	CS	0,5	2008	1,5X3,0
					ML	0,5	2008	1,5X3,0
10	899	3A	1,9	1	CS	1,9	2005	2,0X3,2
11	926	3A	0,6	1	ML	0,6	2012	1,5X3,0
12	969	3A	4,8	6	CD	0,4	2006	2,0X2,7
					SB	1,4	2006	2,0X2,7
					OT	2,1	2012	2,0X3,0
13	1.007	3A	9,2	20	CD	1,2	2010	1,3X2,8
					CS	3,1	2004	1,3X2,8
					CS	1,4	2005	1,3X2,8

					ML	0,7	2004	1,3X2,8
					ML	0,9	2005	1,3X2,8
					SB	0,4	2005	1,3X2,8
					OT	0,8	2005	0,8X2,8
14	698	2C	0,5	1	CS	0,5	2005	1,5X3,0
15	849	3A	2,1	4	CS	2,1	2000	1,6X3,0
16	1.301	3A	11,6	10	SB	0,9	2009	1,0X2,5
17	1.263	3A	5,6	18	SB	0,6	2005	1,3X2,9
18	1.243	3A	26,3	39	SB	0,5	2004	1,2X3,0
19	1.425	3A	5,4	11	SB	0,8	2012	1,2X3,0
20a	1.332	3A	12,8	21	CD	1,4	2011	1,0X3,0
20b	1.253	3A	12,8	21	MO	0,8	2012	1,5X3,0

CS= Cabernet Sauvignon; CD= Chardonnay; ML= Merlot; MO= Montepulciano; OT= Outras variedades; SB= Sauvignon Blanc. A propriedade 20 tem uma parte dos vinhedos sob material de origem dacito (20a) e outra sob basalto (20b).

A maior parte dos pequenos produtores da região do Meio Oeste não possuem matéria-prima suficiente (uvas), para produção do seu próprio vinho. Dessa forma, muitos levam seus produtos para cooperativas, que procedem à vinificação. As variedades de uvas, vindas de diferentes produtores, podem contribuir para a perda de tipicidade do produto de um ano para o outro. Já os produtores da Serra Catarinense, a maior parte faz seu próprio vinho na vinícola, que possuem estrutura para a vinificação.

Para a avaliação da fertilidade do solo, nas linhas dos vinhedos, foi coletada uma amostra composta, formada a partir de cinco amostras simples deformadas, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm nas propriedades de 1 a 15 e na profundidade de 0 a 20 cm nas propriedades de 16 a 20, utilizando-se um trado holandês. As amostras foram coletadas em cada uma das propriedades vitícolas avaliadas nos municípios de Cerro Negro, Tangará, Videira, Campos Novos e Campo Belo do Sul na região do Meio Oeste e São Joaquim na região da Serra Catarinense (Figura 1). Quanto aos nutrientes caracterizados, considerando as condições da viticultura catarinense, foram avaliados os que merecem maior atenção, sendo selecionados pela sua baixa disponibilidade nesses solos ou por serem os mais exigidos pela videira.

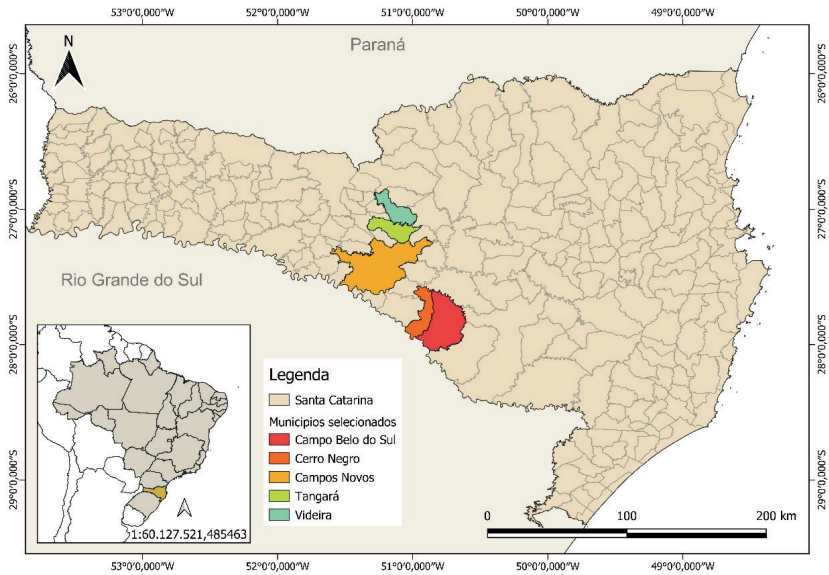


Figura 1. Localização dos municípios onde foram coletadas as amostras de solo para avaliação da fertilidade. Fonte: elaborado por Erico Albuquerque dos Santos.

Foram avaliados os valores de pH, os teores de P, K, carbono orgânico total (COT), Al, capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, os teores de Zn e Cu, segundo Embrapa (1997) e Tedesco *et al.* (1995). Após a coleta, as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, sendo, em seguida, transportadas para o laboratório, secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Neste material foram realizadas as análises químicas e físicas.

Também foram coletadas amostras indeformadas, utilizando-se anéis volumétricos de aço inox com 5 cm de altura e 7 cm de diâmetro interno, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, para avaliação dos atributos físicos, sendo cinco repetições por profundidade em cada propriedade avaliada. Essa coleta foi feita apenas nas propriedades do Meio Oeste (Tabela 1). Foi determinada a granulometria (areia fina, areia grossa, silte e argila), a densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), com umidade equilibrada na tensão de 600 kPa, porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), realizadas de acordo com o método descrito em Veiga (2011) que, por sua vez, adaptou os métodos descritos em Embrapa (1997) para as condições de análise de rotina.

Os atributos avaliados em todas as propriedades foram submetidos à análise de componentes principais (ACP), que é uma técnica estatística que permite reduzir a dimensionalidade dos dados mantendo a maior parte da variância original. Foram realizadas duas ACPs, sendo uma somente com os dados das propriedades do Meio Oeste (propriedades de 1 a 15), que têm amostras em diferentes profundidades, e outra ACP com todos os dados (propriedades de 1 a 20), com amostras na profundidade de 0 a 20 cm. A ACP foi utilizada para identificar padrões nos dados e reduzir o número de variáveis, transformando-as em um conjunto menor de componentes principais. Esses componentes representam combinações lineares dos atributos originais e são selecionados de forma a maximizar a variação explicada. A similaridade entre as propriedades vitícolas foi então avaliada com base nesses componentes. Todas as análises foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos químicos

Na avaliação dos atributos químicos das propriedades do Meio Oeste, entre os produtores da região observa-se valores de pH do solo dentro do considerado adequado para a cultura da videira, sendo que, em grande parte das camadas avaliadas, esses valores foram superiores a 5,5, alcançando valores de 7,2 na camada superficial da propriedade 5 (Tabela 2). A propriedade 8 foi a que apresentou os menores valores de pH, inclusive na camada superficial, necessitando desta forma, de realização de calagem para aumentar o pH e melhorar os índices de produção.

Para o pH das propriedades localizadas na Serra Catarinense, verificaram-se valores variando de 4,80 a 5,40 na camada superficial, sendo menores que os valores observados nas propriedades do Meio Oeste. Destaca-se que o menor valor de pH foi observado na propriedade 19, cujo o material de origem do solo é uma rocha ácida (dacito). A importância do pH para a videira está relacionada com a disponibilidade de nutrientes, valores de pH ácido podem indicar a presença excessiva de alumínio e manganês e, consequentemente, baixa capacidade de suprimento de nutrientes. Por outro lado, solos com pH alcalino podem apresentar problemas, como disponibilidade de micronutrientes, principalmente zinco, boro e molibdênio (Ronquim, 2020). Esses problemas podem ser mais significativos nos solos das propriedades do Meio Oeste que têm pH acima de 6,5 (Tabela 2).

No intuito de maximizar a disponibilidade de nutrientes, Melo (2003) indica que os valores de pH do solo para a videira devem estar em torno de 6,0, pois, nessas condições, não são verificados níveis tóxicos de alumínio, nem problemas de indisponibilidade de micronutrientes. Entretanto, mesmo com a utilização da prática

da calagem pelos viticultores, observou-se em alguns casos, elevados teores de Al^{+3}, com valor de 5,2 $cmol_c\ dm^{-3}$ na profundidade de 20 a 40 cm na propriedade 14 e 3,7 $cmol_c\ dm^{-3}$ na profundidade de 10 a 20 cm na propriedade 8. Nas propriedades 16 a 20, os valores de Al foram relativamente baixos, variando de 0,10 a 0,30 $cmol_c\ dm^{-3}$. Isso é decorrente da prática da calagem frequentemente utilizada nessa região, sendo feita aplicação superficial nos vinhedos.

Os solos das regiões do Meio Oeste e da Serra Catarinense apresentam naturalmente baixos valores de fósforo. Entretanto, foram observados valores elevados desse elemento nas três primeiras profundidades da propriedade 3, valores variando de 65 a 88 mg dm^{-3}. Nas propriedades 5, 11, 12, 14 e 15 foram observados valores entre 29 e 52 mg dm^{-3} na profundidade de 0 a 5 cm e nas propriedades 12 e 5 na profundidade de 5 a 10 cm foram quantificados valores de 26 e 24 mg dm^{-3}, respectivamente. Nas propriedades 16 a 20b, os valores de P variaram de 4,30 a 82,00 mg dm^{-3}. Contudo, nas propriedades 15, 16 e 20b, os valores variaram de 15 a 26 mg dm^{-3} (Tabela 2).

Esses maiores valores de P nos vinhedos podem ser atribuídos ao histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados durante a implantação, adubação de pré-plantio e de manutenção. Como são valores bem superiores aos comumente encontrados nos solos naturais da região, reforçam a ideia de que as quantidades aplicadas foram acima da demanda das plantas e, por isso, podem potencializar o risco de transferência do elemento via solução escoada na superfície do solo. E isso pode ser ainda mais grave quando os vinhedos estão localizados em regiões de relevo acidentado, como aqueles da Serra Catarinense (propriedades 16 a 20). Por isso, nessas regiões o risco de erosão é elevado, sendo necessário utilizar cobertura de solo, como plantas de cobertura ou mesmo o manejo das plantas espontâneas na entrelinha do vinhedo.

As recomendações de adubação para a viticultura no Brasil são feitas baseadas em dados de análise de solo e resultados experimentais obtidos, na maioria das vezes, em outros países, adaptados às condições locais. A adubação é um dos componentes do custo de produção e exerce grande influência na produtividade e qualidade da uva e consequentemente do vinho produzido (Giovannini *et al.*, 2001). Segundo Tassinari *et al.* (2023), que desenvolveram estudos com recomendação de adubação para videiras cultivadas na região da Campanha Gaúcha do estado do Rio Grande do Sul, a adubação das videiras deve ser feita através da proposição de níveis críticos e faixas de suficiência de nutrientes em solo e folhas, bem como de doses de nutrientes, contribuindo para o aumento e manutenção de elevada produtividade de uva. Dessa forma, destaca-se a importância desse estudo para as regiões produtoras de vinhos de Santa Catarina.

Em contrapartida aos valores excessivos de P, nas propriedades 2 e 8 foram verificados baixos valores, inclusive na camada superficial, não ultrapassando a 6 mg dm^{-3}. Na propriedade 7, na profundidade de 20 a 40 cm, foram observados valores de 2 mg dm^{-3}, assim como nas propriedades 18 e 20, que apresentaram valores de P de 4,30 a 5,10 mg dm^{-3} (Tabela 2). Verifica-se a necessidade de realizar a adubação com o fósforo nessas propriedades com teores baixos.

Os teores de potássio na região de estudo, ao contrário do P, apresentam-se normalmente elevados. E esses maiores valores de K podem ser decorrentes do material de origem (dacito). Mesmo sendo elevados, a reposição de K é realizada anualmente nos vinhedos em produção, uma vez que ocorre alta extração pelos frutos, para onde o K é remobilizado durante a maturação das bagas. Entretanto, com as adubações excessivas, os valores de K se tornaram ainda maiores, sendo verificado nas propriedades 9 e 11 valores superiores a 600 mg dm^{-3} na profundidade de 0 a 5 cm, e de 464 e 480 mg dm^{-3} na profundidade de 5 a 10 cm, respectivamente. Na propriedade 4 verificou-se 544 mg dm^{-3} na camada superficial, assim como nas propriedades 1, 14 e 15 que apresentaram valores superiores a 400 mg dm^{-3}. Na Serra Catarinense, os valores de K variaram de 69 a 268 mg dm^{-3}, sendo os maiores valores de K verificados nas propriedades 17 e 19 (Tabela 2).

Assim, observa-se que parte do fertilizante que é aplicado ao solo necessariamente é absorvido e aproveitado pela cultura. Com a adubação, o teor trocável no solo elevou-se acima do recomendado atualmente pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo para a videira (CQFS RS/SC, 2016). Esse excesso de potássio no solo ocasiona a redução da concentração de açúcares nas bagas, aumenta o pH do mosto e, consequentemente, pode resultar em um vinho de qualidade inferior (Mota ***et al.***, 2006).

Em trabalho que objetivou avaliar o efeito da adubação potássica sobre o teor de nutrientes no tecido foliar da videira, bem como em alguns componentes do rendimento, em Cabernet Sauvignon, Boonterm, Silapapun e Boonkerd (2010) encontraram aumento do nutriente no tecido quando foram aplicadas maiores doses de adubação potássica, mas isso não se refletiu em aumento do rendimento nas videiras.

O K é um dos macronutrientes mais absorvidos em videiras e, por isso, também um dos mais relacionados com a produtividade. Para a qualidade da uva, a absorção suficiente de K contribui no adequado amadurecimento dos frutos e aumenta a concentração de açúcares e dos constituintes relacionados a cores e aromas (Mpelasoka ***et al.***, 2003).

Os valores mais baixos de K foram observados nas quatro profundidades da propriedade 8, valores que variaram de 12 a 28 mg dm^{-3}. Poucas camadas apresentaram valores abaixo de 60 mg dm^{-3}, valor este considerado baixo para

CTC do solo superior a 15 $cmol_c\ dm^{-3}$ (CQFS RS/SC, 2016). Esses baixos valores foram observados nas propriedades 3, 5 e 6 na profundidade de 20 e 40 cm, como também nas profundidades de 10 a 20 cm das propriedades 3 e 6. Nas propriedades da Serra Catarinense de SC (16 a 20) não foram verificados teores de K abaixo de 60 mg dm^{-3} (Tabela 2). Nas propriedades com baixos teores de K deve-se realizar a adubação com uma fonte de adubo potássico, a exemplo do KCl.

Os valores de carbono orgânico total (COT) são considerados elevados, entretanto na propriedade 10 foram verificados os menores valores nas profundidades de 10 a 20 (19 g kg^{-1}) e 20 a 40 cm (20 g kg^{-1}), enquanto a propriedade 12 apresentou valores abaixo de 30 g kg^{-1} em todas as profundidades avaliadas. Na propriedade 1 foram verificados valores elevados nas três primeiras profundidades, variando de 54 a 56 g kg^{-1}. Nas propriedades 7 e 14 também foram observados valores superiores a 50 g kg^{-1} na camada superficial. Nas propriedades 16 a 20, os valores de COT variaram de 22,62 a 37,12 g kg^{-1} (Tabela 2).

Os valores elevados de COT nas propriedades vitícolas avaliadas indicam certo cuidado com a manutenção da cultura, visto que o COT é fonte de N. Nos solos de vinhedos com elevados valores de COT, a adubação de manutenção com N é recomendada somente quando o crescimento vegetativo estiver abaixo do esperado, conforme a CQFS RS/SC (2016).

O elevado teor de COT do solo associado às condições propícias à sua mineralização, como a ausência de alumínio, o pH favorável e a temperatura relativamente alta na estação do verão, possibilitam maior disponibilidade de N para as plantas. Por outro lado, o excesso de nitrogênio pode prejudicar a floração/frutificação, estimulando a competição entre a atividade vegetativa e a atividade reprodutiva da planta, tornando a planta mais suscetível e predispondo-a ao ataque de doenças fúngicas, e assim prejudicando a qualidade dos frutos. A videira é uma planta rústica e adubações excessivas com N-P-K podem comprometer a qualidade da uva.

Os menores valores de capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, abaixo de 10 $cmol_c\ dm^{-3}$, foram observados na propriedade 2 em toda extensão do perfil e na propriedade 8, na profundidade de 20 a 40 cm. O maior valor, 20,7 $cmol_c\ dm^{-3}$, foi encontrado na profundidade de 20 a 40 cm, na propriedade 14. Nas propriedades da Serra Catarinense (16 a 20), os valores de CTC variaram de 19,10 a 23,40 $cmol_c\ dm^{-3}$ (Tabela 2). A maior parte da CTC do solo apresentou valores superiores a 15 $cmol_c\ dm^{-3}$, sendo considerada alta, conforme CQFS RS/SC (2016). Quando se considera apenas a camada de 0-20 cm, os valores de CTC foram superiores nas propriedades 16 a 20 (Serra Catarinense) em comparação as demais propriedades (Meio Oeste) (Tabela 2). Esses maiores valores de CTC nos solos da Serra Catarinense estão relacionados aos elevados valores de Ca e Mg, que estão todos acima de 10,00 e 4,50 $cmol_c\ dm^{-3}$, respectivamente (dados não apresentados), devido ao histórico de calagem superficial realizada nesses vinhedos.

Os teores de zinco são bem elevados, superiores a 100 mg dm^{-3} na camada superficial das propriedades 3, 4, 6, 12 14 e 15 e na profundidade de 5 a 10 cm da propriedade 3. Os menores valores de Cu foram quantificados nas propriedades 5 e 8 e os maiores valores na camada superficial das propriedades 12, 13 e 15 com valores de 333, 340 e 358 mg dm^{-3}, respectivamente. Nas propriedades da Serra Catarinense, os valores de Cu e Zn são muito menores do que os encontrados nas propriedades do Meio Oeste de SC. Verificaram-se valores, na camada de 0 a 20 cm, variando de 1,90 a 11,0 mg dm^{-3} e 3,80 a 11,0 mg dm^{-3}, respectivamente, para Cu e Zn (Tabela 3). Os menores valores de Cu e Zn nos solos da Serra Catarinense podem ser decorrentes da prática da calagem, que é feita quase todo ano, com aplicação superficial no solo dos vinhedos. Assim, na camada superficial do solo, o pH é maior, o que reduz a disponibilidade de Cu e Zn na solução do solo.

No Meio Oeste, em função do verão úmido e inverno chuvoso, os vinhedos têm maior predisposição ao ataque por doenças fúngicas, o que leva às aplicações sucessivas de calda bordalesa, feita com a mistura de sulfato de cobre e cal, diluídos em água ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$ + Ca $(OH)_2$), visando o controle destas doenças. Assim, as pulverizações podem ser responsáveis pelos teores altos de Cu encontrados nos tecidos de videira (Truchot ***et al.***, 1979), maiores nas cultivares que recebem maior número de tratamentos (Tonietto ***et al.***, 2012). As aplicações frequentes de fungicidas em vinhedos aumentam o teor de Cu e Zn no solo e podem modificar a distribuição das suas frações e aquelas mais lábeis podem potencializar a toxidade às plantas (Nagajyoti; Lee; Sreekanth, 2010).

Tabela 2. Média dos atributos químicos e carbono nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm no Meio Oeste Catarinense em propriedades vitícolas localizadas sobre rochas do tipo basalto

Prop.	Prof.	pH	P	K	COT	Al	CTC_{pH7}	Zn	Cu
nº		cm	H_2O	mg dm^{-3}		g kg^{-1}	$cmol_c$ mg^{-3}		mg dm^{-3}
1	0 a 5	5,9	9	455	55	0,0	17,8	97	225
	5 a 10	5,9	7	320	56	0,0	17,2	65	126
	10 a 20	5,7	7	191	54	0,3	16,3	54	134
	20 a 40	5,5	6	99	47	1,1	15,4	45	109
2	0 a 5	6,4	6	204	40	0,0	6,2	89	178
	5 a 10	6,1	6	124	43	0,0	5,7	82	114
	10 a 20	5,8	5	126	42	0,0	4,9	65	154
	20 a 40	4,8	5	74	38	0,0	1,7	54	123
3	0 a 5	5,8	65	236	38	0,0	16,7	140	198
	5 a 10	5,9	78	124	36	0,0	17,7	112	134

	10 a 20	6,3	88	60	34	0,0	16,9	93	114
	20 a 40	6,2	18	36	29	0,0	14,1	74	159
4	0 a 5	6,2	14	544	35	0,0	17,2	145	212
	5 a 10	6,0	13	268	34	0,0	16,2	99	187
	10 a 20	6,3	7	104	32	0,0	15,7	75	124
	20 a 40	6,6	5	76	30	0,0	15,6	64	145
5	0 a 5	7,2	37	392	38	0,0	17,2	87	98
	5 a 10	6,5	24	364	37	0,0	15,8	74	104
	10 a 20	6,2	15	168	35	0,0	14,7	54	112
	20 a 40	5,3	11	48	29	2,2	11,6	54	95
6	0 a 5	5,6	11	308	42	0,0	16,5	112	219
	5 a 10	5,5	6	108	40	0,0	15,9	79	126
	10 a 20	6,0	4	46	35	0,0	14,8	61	134
	20 a 40	5,9	5	32	31	0,0	13,3	54	129
7	0 a 5	5,6	7	388	53	0,0	17,3	93	254
	5 a 10	5,9	8	360	45	0,0	16,7	65	154
	10 a 20	6,3	3	276	36	0,0	12,8	75	154
	20 a 40	6,1	2	124	32	0,0	13,9	65	123
8	0 a 5	5,0	4	28	46	0,5	11,3	77	104
	5 a 10	4,6	3	24	42	3,2	17,4	65	114
	10 a 20	4,5	3	16	35	3,7	15,9	69	98
	20 a 40	4,8	4	12	23	1,5	5,8	56	89
9	0 a 5	5,4	17	600	38	0,3	13,9	78	236
	5 a 10	5,3	16	464	38	0,2	13,5	54	154
	10 a 20	5,4	14	388	37	0,1	13,1	65	113
	20 a 40	5,8	10	256	32	0,0	11,5	50	108
10	0 a 5	6,1	10	320	35	0,0	12,6	97	254
	5 a 10	6,0	8	192	30	0,0	13,0	95	212
	10 a 20	6,6	9	68	19	0,0	10,1	54	169
	20 a 40	6,4	5	100	20	0,0	11,9	59	134
11	0 a 5	6,0	33	616	37	0,0	16,1	89	221
	5 a 10	6,1	18	480	36	0,0	15,3	92	201
	10 a 20	6,3	8	244	30	0,0	14,1	63	185
	20 a 40	6,0	13	360	30	0,0	15,5	59	132
12	0 a 5	5,8	30	394	29	0,0	18,0	108	333
	5 a 10	5,7	26	392	26	0,0	17,2	87	145
	10 a 20	6,0	19	272	22	0,5	17,5	87	102

	20 a 40	5,4	10	254	20	0,0	15,4	45	125
13	0 a 5	6,0	17	319	30	0,1	17,3	91	340
	5 a 10	6,0	16	159	31	0,5	16,4	65	184
	10 a 20	5,8	11	111	28	1,1	15,7	72	145
	20 a 40	5,8	6	72	26	1,4	13,7	70	111
14	0 a 5	6,0	52	448	50	0,0	17,7	189	254
	5 a 10	6,5	11	376	42	0,0	15,3	97	154
	10 a 20	6,2	11	344	37	0,0	14,1	88	165
	20 a 40	4,9	8	208	27	5,2	20,7	65	122
15	0 a 5	5,9	29	400	41	0,0	17,6	174	358
	5 a 10	5,8	14	202	41	0,0	17,1	96	178
	10 a 20	6,0	8	189	38	0,0	14,9	61	145
	20 a 40	6,2	4	74	31	0,0	12,9	44	122

Prop= propriedade; COT= carbono orgânico total; CTC= capacidade de troca catiônica.

Tabela 3. Média dos atributos químicos e carbono nas profundidades de 0 a 20 cm no Meio Oeste Catarinense e na Serra Catarinense, em propriedades vitícolas localizadas sobre rochas do tipo basalto e dacito*

Prop.	pH	P	K	COT	Al	CTC_{pH7}	Zn	Cu
Nº	H_2O	mg dm^{-3}		g kg^{-1}	$cmol_c$ mg^{-3}		mg dm^{-3}	
1	5,8	8	289,25	54,75	0,15	16,90	67,50	154,75
2	6,0	6	145,00	41,75	0,00	5,43	75,25	150,00
3	6,1	80	120,00	35,50	0,00	17,05	109,50	140,00
4	6,2	10	255,00	33,25	0,00	16,20	98,50	161,75
5	6,5	23	273,00	36,25	0,00	15,60	67,25	106,50
6	5,8	6	127,00	38,00	0,00	15,50	78,25	153,25
7	6,0	5	325,00	42,50	0,00	14,90	77,00	179,00
8	4,7	3	21,00	39,50	2,78	15,13	70,00	103,50
9	5,4	15	460,00	37,50	0,18	13,40	65,50	154,00
10	6,3	9	162,00	25,75	0,00	11,45	75,00	201,00
11	6,2	17	396,00	33,25	0,00	14,90	76,75	198,00
12	5,9	24	332,50	24,75	0,25	17,55	92,25	170,50
13	5,9	14	175,00	29,25	0,70	16,28	75,00	203,50
14	6,2	21	378,00	41,50	0,00	15,30	115,50	184,50
15	5,9	15	245,00	39,50	0,00	16,13	98,00	206,50
16	5,1	15	181,00	25,52	0,10	22,80	11,00	8,40
17	5,5	26	268,00	27,84	0,00	23,40	8,90	8,00

18	5,0	5	94,00	37,12	0,10	20,80	10,00	11,00
19	4,8	82	202,00	24,94	0,30	19,10	21,00	8,10
20a	5,4	4	69,00	31,90	0,10	21,40	3,80	1,90
21b	5,4	19	127,00	22,62	0,00	19,40	6,50	4,20

*Apenas as propriedades 19 e 20a estão sobre o material de origem dacito. As demais propriedades estão sobre basaltos. Prop= propriedade; COT= carbono orgânico total; CTC= capacidade de troca catiônica; 1 a 15= propriedades vitícolas localizadas no Meio Oeste Catarinense; 16 a 20= propriedades vitícolas localizadas na Serra Catarinense.

Na Figura 2 tem-se a distribuição dos atributos químicos e físicos e do conteúdo de COT por meio da ACP realizada em cada profundidade nas diferentes propriedades do Meio Oeste (1 a 15). Os resultados são dispostos nos eixos 1 e 2, que são os componentes que visam explicar os dados em função dos atributos avaliados de modo a captar a maior variabilidade possível de explicação dos dados, e as setas representam os atributos avaliados, indicando a direção do gradiente máximo, e o comprimento da seta indica a proporção que este atributo se correlaciona com os eixos.

Para a profundidade de 0 a 5 cm, os componentes 1 e 2 com 39,56% e 17,08%, respectivamente, explicam um total de 56,64% da variância total. Enquanto as demais profundidades mostraram valores para os eixos 1 e 2 próximos, variando de 30,05 a 31,77% no eixo 1 e 20,23 a 22,12% no eixo 2 (Figura 2). A diferenciação de grupos entre atributos e propriedades em todas as profundidades avaliadas indica que as diferentes práticas de manejo (adubação, calagem, plantas de coberturas) influenciam fortemente nos atributos estudados.

Para a camada mais superficial é possível observar a formação de três grupos que separam atributos e propriedades vitícolas (Figura 2a), com o maior grupo representado pelas propriedades 4, 9, 10, 11, 12 e 13 associadas aos atributos químicos cobre e potássio, sendo um reflexo da adubação excessiva e manejo para controle de doenças fúngicas. Um segundo grupo formado pelas propriedades 1, 5, 6 e 7 indicando alta correlação com o COT, e um terceiro grupo com as propriedades 3, 14 e 15 associadas aos atributos CTC, fósforo e zinco, corroborando com os elevados teores de P e Zn observados nessas vitícolas. A propriedade 8 foi a que mais se distanciou das demais, reflexo dos baixos valores de pH e da falta de adubação desta área, contribuindo para os baixos valores de P e K. Na profundidade de 5 a 10 cm (Figura 2b) também se observa a formação de três grupos e algumas propriedades dispersas, demonstrando uma menor similaridade nessa camada. A propriedade 8, assim como na profundidade mais superficial (Figura 2a) e na seguinte (Figura 2c), se mostrou a mais distante das demais, o que indica a necessidade de maior adubação para adequação com as demais áreas produtoras da região de vinhos de altitude. Na

profundidade de 10 a 20 cm (Figura 2c) observa-se a formação de quatro grupos, onde é possível verificar mais uma vez o agrupamento dos atributos Cu e K, nas profundidades mais superficiais, indicando a forte influência desses elementos até os 20 cm, sendo um reflexo do manejo utilizado nessas propriedades. Destaca-se a separação da propriedade 8 das demais em função dos altos teores de Al que ali foram encontrados (Tabela 2), indicando a necessidade de calagem.

Na profundidade de 20 a 40 cm, novamente observa-se a formação de três grupos. Em todas as profundidades é possível verificar que o COT foi o único atributo capaz de definir grupos distintos dos demais atributos químicos avaliados, indicando que o manejo utilizado nas propriedades está favorecendo a manutenção do carbono que originalmente é alto devido às condições climáticas da região, como as baixas temperaturas que ocorrem no inverno.

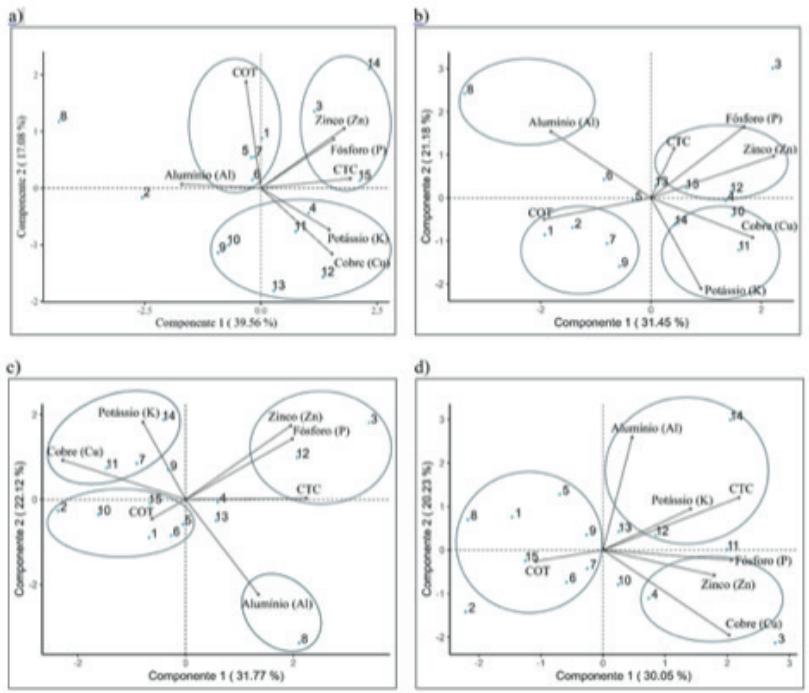


Figura 2. Análise de componente principal dos atributos químicos para as 15 propriedades vitícolas, nas profundidades: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 a 40 cm.

Na Figura 3 tem-se a ACP realizada com todas as propriedades vitícolas na profundidade de 0 a 20 cm. Os atributos químicos analisados permitiram separar as propriedades em três grupos. A propriedade 8 se isola das demais devido aos elevados teores de Al (Tabela 3). É possível verificar um padrão de separação das propriedades vitícolas localizadas na Serra Catarinense (16 a 20) das propriedades vitícolas localizadas no Meio Oeste (1 a 15). Os maiores valores de CTC observados na profundidade de 0 a 20 cm nas propriedades da Serra Catarinense foram responsáveis pela separação dessas propriedades em comparação às propriedades do Meio Oeste, que foram separadas pelos atributos COT, Cu, Zn, K e pH. Os valores de P estão em posição intermediária às propriedades vitícolas da Serra Catarinense e do Meio Oeste, uma vez que os valores desse elemento variaram de 3,33 a 77,00 mg dm^{-3} no Meio Oeste e de 5,10 a 82,00 mg dm^{-3} na Serra Catarinense (Tabela 3).

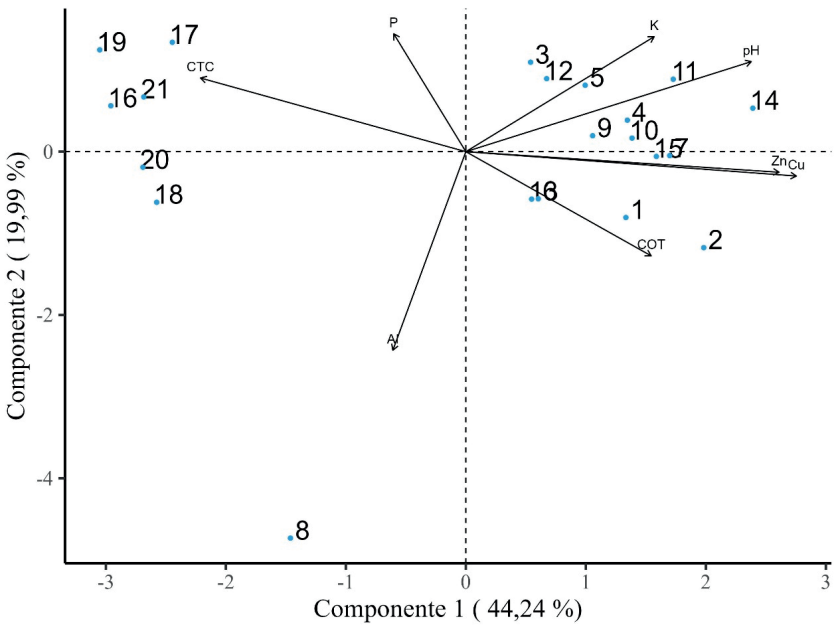


Figura 3. Análise de componente principal dos atributos químicos para as 20 propriedades vitícolas na profundidade de 0 a 20 cm.

As propriedades vitícolas localizadas na Serra Catarinense estão todas localizadas no município de São Joaquim, apresentando altitudes superiores às propriedades localizadas no Meio Oeste. Em média, verificam-se valores de 200 a 300 m de altitude maiores na Serra Catarinense, sendo a que propriedade 19 apresenta mais de 400

m de altitude de diferença entre as demais propriedades (Tabela 1). Essa diferença de altitude resulta também em diferenças nas temperaturas, na disponibilidade térmica e na radiação solar, que são todas mais elevadas nas propriedades de menor altitude. Em contrapartida, os volumes de precipitação pluviométrica são menores no Meio Oeste, quando comparado com a região de maior altitude (Muniz *et al.*, 2015). As baixas temperaturas e a maior quantidade de horas de frio acumulado em São Joaquim resultam no prolongamento do período de maturação das uvas da região em comparação com os municípios da região do Meio Oeste (Muniz *et al.*, 2015). Em consequência desses fatores, tem-se a produção de vinhos diferenciados, assim como tem-se um manejo do solo diferenciado, pois as temperaturas mais baixas ao longo do ano interferem na decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo, com reflexos na CTC e nos atributos químicos do solo.

Atributos físicos

As propriedades vitícolas do Meio Oeste apresentam valores elevados de argila, sendo observados solos com textura muito argilosa (teores de argila acima de 600 g kg^{-1}) para as camadas mais superficiais, nas propriedades 3, 4, 5, 6, 9, 10 e 11 e na profundidade de 20 a 40 cm das propriedades 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 15 (Tabela 4). Os menores valores foram observados na profundidade de 0 a 20 cm das propriedades 2 e 12 com teores de argila variando de 410 e 426 g kg^{-1}, respectivamente.

Tabela 4. Média dos teores areia grossa (AG), areia fina (AF) e areia total (AT), silte (St), argila (Ag), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em propriedades vitícolas localizadas sobre rochas basálticas do Meio Oeste

Propr.	Prof.	AG	AF	AT	St	Ag	Ds	Rp	Pt	Mp	mp
	cm		---------g kg^{-1}---------				Mg cm^{-3}	MPa	----m m^{-3}----		
1	0 a 20	59	65	125	406	469	0,87	0,84	0,61	0,28	0,33
1	20 a 40	50	54	105	351	545	0,99	1,44	0,59	0,16	0,42
2	0 a 20	161	80	241	350	410	0,86	0,70	0,65	0,32	0,33
2	20 a 40	106	64	170	400	430	0,98	0,67	0,62	0,29	0,32
3	0 a 20	49	37	84	253	662	0,96	1,34	0,60	0,19	0,42
3	20 a 40	34	28	63	278	658	1,15	1,36	0,50	0,15	0,35
4	0 a 20	21	32	53	300	647	0,92	1,78	0,62	0,29	0,33
4	20 a 40	15	31	46	305	649	1,07	1,76	0,56	0,21	0,35
5	0 a 20	30	28	58	286	656	0,94	1,43	0,60	0,20	0,40
5	20 a 40	16	23	39	303	658	1,08	2,27	0,56	0,16	0,40
6	0 a 20	25	28	53	289	658	0,92	1,45	0,60	0,19	0,40

6	20 a 40	17	24	42	240	718	1,04	1,48	0,57	0,22	0,35
7	0 a 20	75	49	124	326	549	0,94	1,08	0,61	0,24	0,36
7	20 a 40	62	42	103	258	639	1,09	1,50	0,52	0,22	0,30
8	0 a 20	40	46	87	401	512	0,74	0,67	0,65	0,35	0,30
8	20 a 40	20	23	43	319	638	0,90	0,60	0,62	0,27	0,35
9	0 a 20	23	19	41	298	661	0,92	1,26	0,62	0,25	0,37
9	20 a 40	18	16	34	256	710	1,24	2,37	0,54	0,15	0,39
10	0 a 20	39	30	69	309	622	1,17	1,95	0,58	0,11	0,46
10	20 a 40	40	27	66	273	661	1,32	0,98	0,53	0,09	0,44
11	0 a 20	30	31	62	289	649	1,10	1,99	0,49	0,25	0,24
11	20 a 40	28	29	56	290	653	1,31	2,31	0,47	0,20	0,27
12	0 a 20	130	80	211	363	426	1,08	1,85	0,57	0,23	0,34
12	20 a 40	113	71	184	294	521	1,06	1,28	0,61	0,16	0,45
13	0 a 20	126	65	193	337	471	1,07	2,08	0,61	0,26	0,35
13	20 a 40	133	64	198	261	541	1,13	2,36	0,60	0,17	0,42
14	0 a 20	119	72	191	263	545	1,10	1,47	0,53	0,19	0,34
14	20 a 40	129	79	207	218	574	1,13	2,11	0,55	0,19	0,36
15	0 a 20	31	16	49	285	596	1,02	0,89	0,45	0,25	0,20
15	20 a 40	146	55	202	203	666	1,01	1,69	0,62	0,27	0,35

Nas propriedades vitícolas da Serra Catarinense, os solos também apresentam elevados conteúdos de argila, com valores variando de 400 a 650 g kg^{-1} em todo o perfil do solo. O conteúdo de areia total é menor que 200 g kg^{-1} (Santos ***et al.***, 2023, 2024).

Os maiores teores de argila, verificados nas propriedades vitícolas, resultam em solos com maior superfície específica e densidade de carga elevada. Esses atributos favorecem uma retenção de cátions e adsorção de fósforo, devido à alta reatividade química dessa fração.

De acordo com Mota ***et al.*** (2006), o predomínio da fração argila nos solos influencia positivamente na produção das uvas. Em solos argilosos são produzidos vinhos com boa coloração (tintos), macios, de boa acidez e com maior tempo de conservação. Já os solos arenosos, são produzidos vinhos finos, porém fracos em extrato seco e albuminas (Fregoni, 2005).

Os maiores valores de densidade do solo (Ds), acima de 1,30 Mg m^{-3}, foram observados na profundidade de 20 a 40 cm nas propriedades 10 e 11. Entretanto, os valores na maioria das propriedades foram baixos, não ultrapassando 1,10 Mg m^{-3} (Tabela 4).

Quanto à resistência à penetração (Rp), a região do Meio Oeste de Santa Catarina apresentou valores acima de 2,0 MPa em algumas propriedades. Tais valores encontram-se abaixo do valor crítico (3,0 MPa) definido por Echenique *et al.* (2007) para a cultura da videira. Na propriedade 13 foi observado valor de 2,08 Mpa na camada superficial e de 2,36 MPa na camada mais profunda. Valores acima de 2 MPa também foram verificados na profundidade de 20 a 40 cm das propriedades 5, 9, 11 e 14 (Tabela 4).

Quanto à porosidade total (Pt) verificaram-se valores adequados, sendo que valores inferiores a 50% foram observados apenas nas duas camadas da propriedade 11 e na camada superficial da propriedade 15. Para a macroporosidade, os valores são todos acima do mínimo aceitável para uma boa aeração (10%), exceto na propriedade 10 que apresentou apenas 9% de macroporos na profundidade de 20 a 40 cm. A porosidade de aeração de 10% da Pt é considerada um valor limitante para permitir a respiração das raízes das videiras (Lanyon; Cass; Hansen, 2004) e as trocas de oxigênio e dióxido carbono do solo com a atmosfera (Xu; Nieber; Gupta, 1992). Em solos com condição de encharcamento prologando o acúmulo de etileno é a principal causa que inibe o desenvolvimento da videira (Jackson, 1985). Em relação aos microporos, de maneira geral, nas diferentes propriedades verifica-se o predomínio desses poros, com valores variando de 20 a 46% (Tabela 4). Esste padrão se deve ao fato que em solos argilosos a tendência é de predomínio de microporos (Amaro Filho; Assis Júnior; Mota, 2008).

A relação mp/Mp foi superior a 1,0 apenas na profundidade de 0 a 20 cm das propriedades 8, 11 e 15, e a menor relação observada foi de 0,20 na propriedade 10. Esses valores podem não ser interessantes para a videira em função de possíveis problemas de excesso de umidade, considerando as condições climáticas da região em determinadas épocas. Por outro lado, segundo Van Leeuwen *et al.* (2009), a maior quantidade de água disponível no solo aumenta o crescimento das bagas e diminui a concentração de açúcares, afetando a composição do vinho.

Luciano *et al.* (2013) avaliaram os efeitos das condições meteorológicas e do tipo de solo sobre características físico-químicas e compostos fenólicos da uva Cabernet Sauvignon em Cambissolo Háplico e Cambissolo Húmico. Os autores observaram que a disponibilidade de água foi a principal diferença entre os dois solos e, provavelmente, a variável com maior efeito sobre a composição da uva. Outros autores registraram resultados semelhantes (Castellarin *et al.*, 2007; Lebon *et al.*, 2006; Van Leeuwen *et al.*, 2009). Segundo Lebon *et al.* (2006), em solos com maior disponibilidade hídrica ocorre competição entre a parte aérea e os frutos pelos sólidos solúveis, com consequente redução do seu teor nas bagas.

Para a ACP da profundidade de 0 a 20 cm (Figura 4a), a componente 1 explica 44,33% da variância total e a componente 2, 25,32%. Juntas elas explicam 51% da variância nos dados originais, enquanto na profundidade de 20 a 40 cm (Figura 4b), as componentes 1 e 2 explicam um total de 64,27% da variância. Para ambas as profundidades é possível observar a formação de quatro grupos que separam atributos e as propriedades. Esses resultados indicam que as diferentes práticas de manejo influenciam nos atributos físicos avaliados.

Para as duas profundidades observa-se o agrupamento do atributo argila com as propriedades 3, 4, 5, 6, 9, 11 e 15 na profundidade de 0 a 20 cm e 3, 4, 5, 6, 7, 9 e 11 na profundidade de 20 a 40 cm. A textura do solo, variou de argilosa a muito argilosa, podendo ter contribuído para uma maior similaridade entre essas propriedades mesmo sendo utilizados manejos diversos nas práticas de cultivo. As propriedades 12 e 13 diferenciam-se das demais nas duas camadas avaliadas, sendo observada uma textura mais arenosa. A propriedade 10 se destacou das demais em ambas as profundidades ao se agrupar com a Rp e a Ds. Na propriedade 8 foi observada uma maior correlação com a macroporosidade e os teores de silte. Essas separações são decorrentes dos maiores valores de Ds na propriedade 10 e dos maiores valores de macroporos na propriedade 8 (Tabela 4).

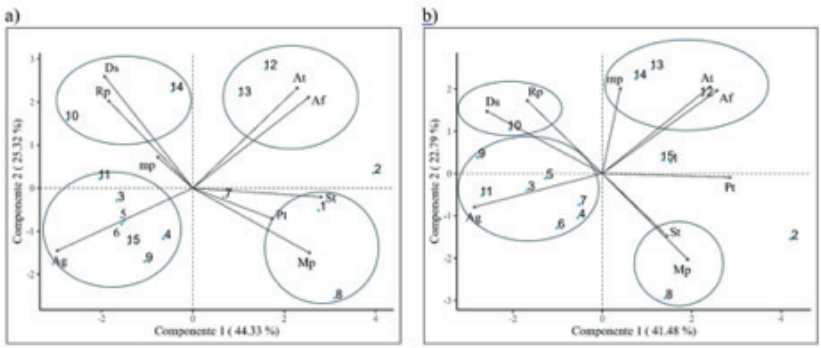


Figura 4. Análise de componentes principais dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas no Meio Oeste, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm. Média dos teores areia total (At), silte (St), argila (Ag), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A viticultura, devido ao conjunto de práticas utilizadas para o manejo, pode promover grandes modificações em alguns atributos químicos entre vinhedos e entre unidades produtoras. Os vinhedos da região do Meio Oeste e da Serra Catarinense apresentam solos com excesso de adubações constatado pela análise dos atributos químicos. Dessa forma, as adubações dos vinhedos devem ser realizadas com base nas análises de solo e de acordo com a necessidade da videira.

Os vinhedos apresentam características similares quando realizada a avaliação conjunta de todos os atributos químicos, o que pode imprimir tipicidade nas uvas e vinhos produzidos, sendo favorável para implantação de uma indicação geográfica. Entretanto, há uma nítida separação dos vinhedos da região da Serra Catarinense, que apresentam maior CTC e estão localizados em maiores altitudes quando comparados aos vinhedos da região do Meio Oeste Catarinense. Essa separação pode ser avaliada em relação à qualidade do vinho, o que pode ser explorado quanto às indicações geográficas, tais como uma denominação de origem.

Nas duas regiões avaliadas existem propriedades vitícolas com determinada homogeneidade dos atributos dos solos, podendo conferir tipicidade à uva produzida da região.

Os atributos físicos possibilitaram a verificação de similaridade entre os vinhedos do Meio Oeste e, dessa forma contribuíram para a diferenciação ou homogeneização das propriedades avaliadas.

A maioria das propriedades vitícolas avaliadas estão implantadas em solos com relevo acidentado, o que favorece o aumento dos processos erosivos. Assim, seria importante o uso de plantas de coberturas nas entrelinhas dos vinhedos para evitar a erosão e favorecer a ciclagem de nutrientes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido da Fundação de Apoio **à** Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC) projeto n. 2022TR001373 e à bolsa de produtividade n. 311474/2021-7 (PQ1D).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo**: Conceitos e Aplicações. Fortaleza: UFC, 2008. 290 p.

BOONTERM, C. W.; SILAPAPUN, A.; BOONKERD, N. Effects of nitrogen, potassium fertilizer, and clusters per vine on yield and anthocyanin content in Cabernet Sauvignon grape. **Suranaree J. Sci. Technol**, v. 17, p. 155-163, 2010.

BORGHEZAN, M.; GAVIOLI, O.; PIT, F. A.; SILVA, A. L. Comportamento vegetativo e produtivo da videira e composição da uva em São Joaquim, Santa Catarina. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 46, n. 4, p. 398-405, 2011.

BRAGA, H. J.; GHELLERE, R. Proposta de diferenciação climática para o estado de Santa Catarina. *In:* **Anais** do 11º Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e Reunião LatinoAmericana de Agrometeorologia [CD-ROM]; 1999; Florianópolis. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; 1999.

CASTELLARIN, S. D.; MATTHEWS, M. A.; DI GASPERO, G.; GAMBETTA, G. A. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. **Planta**, v. 227, p. 101-112, 2007.

CORDEIRO, W. **A vitivinicultura em São Joaquim - SC**: uma nova atividade no município. 132f. (Dissertação de Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, UFSC, Florianópolis, 2006.

CQFS RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2016. 400 p.

DAL BÓ, M. A. Efeito da adubação NPK na produção, qualidade da uva e nos teores foliares de nutrientes da videira. **R. Bras. de Fruticultura**, v. 14, p. 189-194, 1992.

DORTZBACH, D.; PEREIRA, M. G.; MACHADO, L. N.; LOSS, A. Geologia, geomorfologia e solo das regiões dos vinhedos de altitude de Santa Catarina. *In:* PALLADINI, L. A.; BRIGHENTI, A. F.; SOUZA, A. L. K.; SILVA, A. L. (Orgs.). **Potencial de variedades de uvas viníferas nas regiões de altitude de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2021, v. 01, p. 44-56.

DORTZBACH, D. **Caracterização dos solos e avaliação da aptidão agrícola das regiões produtoras de vinhos finos de altitude**. 192f. (Tese), Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, UFRRJ, Seropédica-RJ, 2016.

ECHENIQUE, M. C.; APCARIAN, A.; REEB, P.; ARUANI, M. C. Growth-yield relationship of grapevine cultivars on soils with hardened layers, Alto Valle of the Río Negro, southern wine-growing region of Argentina. **Agric. Técn.**, v. 67, p. 262-270, 2007.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212 p.

EMBRAPA; NACHTIGAL, J. C.; MAZZAROLO, A. (Eds.). **Uva**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 202 p.

EPAGRI/CIRAM. Área geográfica delimitada da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri/Ciram, 2021. Disponível em: https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/06/30/vinhos-de-altitude-de-santa-catarina-conquistam-indicacao-geografica/

FOGAÇA, A. O. **Avaliação do estado nutricional de vinhedos e sua correlação com a produção de uvas viníferas de qualidade**. 88f. (Dissertação Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

FRÁGUAS, J. C.; ALVARENGA, A. A.; ABRAHÃO, E.; REGINA, A. M. A. **Calagem e Adubação para Videiras e Frutíferas de Clima Temperado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. (Boletim Técnico nº 65).

FREGONI, M. **Viticoltura di qualità**. Verona: Phytoline, 2005. 819 p.

GIOVANNINI, E.; MIELE, A.; FRÁGUAS, J. C.; BARRADAS, C. I. N. Estudo comparativo de três metodologias de diagnose nutricional foliar para a videira. **Pesq. Agrop. Gaúcha**, v. 7, n. 1, p. 41-48, 2001.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA W.M. Sistema de manejo de solos e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.23, p.145-154, 1999.

JACKSON, M. B. Ethylene and response of plants to soil waterlogging and submergence. **Annual Review of Plant Physiology**, 36, 145-174, 1985.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**, 6. ed. New Jersey: Prentice Hall. 2007. 773 p.

LANYON, D. M.; CASS, A.; HANSEN, D. The effect of soil properties on vine performance. **CSIRO Land and Water Technical Report** Nº 34/04 54 p., 2004.

LEBON, E.; PELLEGRINO, A.; LOUARN, G.; LECOEUR, J. Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (Vitis vinifera) growing in drying soil. **Annals of Botany**, v. 98, p. 175-185, 2006. DOI: 10.1093/aob/mcl085

LLOPIS, G. Y. (Trad. Jorge Tonietto). **Denominações de origem e indicações geográficas de produtos vitivinícolas**. Bento Gonçalves: Embrapa, Uva e Vinho. 1997, 20p.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; RUFATO, L.; MIQUELLUTI, D. J.; WARMLING, M. T. Condições meteorológicas e tipo de solo na composição da uva 'Cabernet Sauvignon'. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 48, n. 1, p. 97-104, 2013.

MELO, G. W. B. Uva para processamento produção. **Frutas do Brasil**, 34. Embrapa Solos p. 45-55, 2003. 134 p.

MIELE, A.; RIZZON, L. A.; ZANUS, M. C. Discrimination of Brazilian red wines according to the viticultural region, varietal, and winery origin. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 30, n. 1, p. 268-275, 2010.

MOTA, R. V.; REGINA, M. A.; AMORIM, D. A.; FÁVERO, A. C. Fatores que afetam a maturação e a qualidade da uva para vinificação. **Informe Agropecuário**, 27, 56-64, 2006.

MPELASOKA, B. S.; SCHACHTMAN, D. P.; TREEBY, M. T.; THOMAS, M. R. A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 9, p. 154-168, 2003.

MUNIZ, J. N.; SIMON, S.; BRIGHENTI, A. F.; MALINOVSKI, L. I.; PANCERI, C. P.; FERNANDES, G. V.; WELTER, J. F.; ZOTTO, D. D.; SILVA, A. L. Viticultural performance of Merlot and Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) cultivated in high altitude regions of Southern Brazil. **Journal of Life Sciences**, v. 9, p. 399-410, 2015.

NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D.; SREEKANTH, S. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environmental Pollution**, v. 8, p. 199-216, 2010.

PANDOLFO, C.; VIANNA, L. F. N. Vinhos de Altitude de Santa Catarina: Caracterização da região produtora, indicadores e instrumentos para proposição de uma indicação geográfica. Florianópolis: Epagri, 200 p. 2020.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. URL https://www.R-project.org/

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. 2. ed. Campinas: Embrapa Territorial, 2020. 34 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Laboratório de Geomorfologia. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP (Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) (Mapas e Relatórios), 1997.

SANTOS, H. P. **Aspectos ecofisiológicos na condução da videira e sua influência na produtividade do vinhedo e na qualidade dos vinhos**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, (Comunicado Técnico, 71). 2006. 9 p.

SANTOS, E. A.; FLORISBAL, L. M.; LOSS, A.; BESSER, M. L.; DORTZBACH, D. Geology and Wine 15. Producing Wine at Altitude: The Terroir of São Joaquim, Brazil. **Geoscience Canada**, v. 45, p. 137-149, 2019.

SANTOS, E. A.; LOSS, A.; FLORISBAL, L. M.; DORTZBACH, D. Solos da Serra Catarinense. *In:* PEDRON, F. A.; PEREIRA, M. G. (Orgs.). **Compêndio de Solos do Brasil**. Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2024, v. 1, p. 60-88.

SANTOS, E. A.; LOSS, A.; PEDRON, F. A.; FLORISBAL, L. M.; SILVA, E. B. **Guia de campo da excursão pedológica**: da rocha à garrafa - geologia, solos e vinhos. Florianópolis: UFSC, 2023. v. 1. 55 p.

TASSINARI, A.; MOURA-BUENO, J. M.; GARLET, L. P.; STEFANELLO, L. O.; ANDRADE, C. B.; OLIVEIRA, F. N.; DOTTO, L.; SIQUEIRA, G. N.; PERIPOLLI, G. Z.; DIAS, B. G.; ANDREOLLI, T.; PAPALIA, D.; CERETTA, C. A.; LOSS, A.; COMIN, J. J.; BRUNETTO, G. **2ª Atualização Recomendação de adubação em videiras em produção para a Campanha Gaúcha do Rio Grande do Sul.** (Boletim Técnico). Florianópolis: UFSC, 2023.

TECCHIO, M. A.; PIRES, E. J. P.; TERRA, M. M.; GRASSI FILHO, H.; CORRÊA, J. C.; VIEIRA, C. R. Y. I. Tolerância de porta-enxertos de videira cultivados, em solução nutritiva, ao alumínio. **Revista Ceres**, v. 53, n. 306, p. 243-250, 2006.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solos, plantas e outros materiais** 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TONIETTO, J. Valorização do ecossistema: importância da regionalização vitivinícola na produção de vinhos de qualidade. *In:* CONGRESO LATINOAMERICANO DE VITICULTURA Y ENOLOGIA, 8, 2001, Montevidéu. **Annales.** Montevidéu: Asociación de Enólogos del Uruguay, (CD rom). 2001. p. 1-9.

TONIETTO, J.; FALCADE, I. Vinhos regionais: regulamentação no Brasil. X Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia. **Anais...** Bento Gonçalves, 2003.

TONIETTO, J.; SOTÉS RUIZ, V.; GÓMEZ-MIGUEL, V. D. **Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas iberoamericanas**. Madrid: Cyted, 2012. 411 p.

TRUCHOT, R.; SIMON, G.; GRIMAL, P.; BESSIL, R. Variations des concentrations de zinc, cuivre et manganèse dans le raisin. **Mudes des Falsifications et de l'Expertise Chimique**, Paris, v. 72, n. 71, p. 15-24, 1979.

VAN LEEUWEN, C.; TREGOAT, O.; CHONÉ, X.; BOIS, B.; PERNET, D.; GAUDILLÈRE, J. P. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v. 43, p. 121-134, 2009.

VEIGA, M. **Metodologia para coleta de amostras e análises físicas do solo**. (Epagri. Boletim Técnico, 156) Florianópolis: Epagri, 2011. 52 p.

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society of America Journal**. 56:1743-1750, 1992.

CAPÍTULO 7

PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS EM REGIÕES MONTANHOSAS DE SANTA CATARINA

Arcângelo Loss
Professor Associado
Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Bruna da Rosa Dutra
Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Paulo Henrique Câmara
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Heitor Flores Lizarelli
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Leonardo Khaoê Giovanetti
Universidade Federal de Santa Catarina
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Jamil Fayad Abdala
Pesquisador
Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Marcelo Zanella
Extensionista
Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Cledimar Rogério Lourenzi
Professor Associado
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Paulo Emílio Lovato
Professor Associado
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Jucinei José Comin
Professor Associado
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

INTRODUÇÃO

Os ambientes de montanha apresentam vasta diversidade ecossistêmica, sendo grande parte dessa área ocupada predominantemente com agricultura familiar, e por isso vêm sendo estudados em busca do emprego de estratégias agroecológicas de manejo. Nesses ambientes, o relevo acidentado aumenta a susceptibilidade natural à erosão e a eventos relacionados a deslizamentos de terra (Ferreira *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2023).

Em Santa Catarina (SC), na região da Grande Florianópolis, a agricultura de montanha é expressiva e desenvolvida predominantemente em solos da classe dos Cambissolos, nos quais são cultivadas hortaliças, como chuchu (*Sechium edule*), moranga (*Cucurbita maxima*), cebola (*Allium cepa*), couve-flor (*Brassica oleracea* var. botritys), brócolis (*Brassica oleracea* var. italica), mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza* var. bancroft), entre outras. Além da declividade desses ambientes, chuvas intensas e temperaturas elevadas acima da média, como as que ocorrem em SC no verão, podem ocasionar degradação severa do solo e redução da produtividade das hortaliças. Em função disso, os agricultores que praticam a agricultura de montanha manejam cada vez mais suas áreas de acordo com os princípios do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), conciliando produtividade das hortaliças com preservação ambiental (Epagri, 2024).

O SPDH tem como alicerce o uso de cobertura viva ou morta permanente do solo, o revolvimento do solo restrito ao berço de plantio, a rotação de culturas, a promoção da saúde das plantas por meio da busca por redução de estresses ambientais sendo o parcelamento das adubações realizado de acordo com a demanda de nutrientes das culturas, e a redução ou até mesmo a ausência do uso de agrotóxicos (Figura 1).

Figura 1. Cultivo de couve-flor no SPDH em Angelina, SC, em área declivosa, com cobertura permanente do solo, que reduz a temperatura e favorece a infiltração da água no solo. Fonte: Epagri (2024).

No município de Angelina (SC) foram registrados 310 mm de chuva em quatro dias durante o mês de outubro de 2023, um dos meses em que SC registrou 400% a mais de precipitação do que o previsto para o período. Enquanto em lavouras que adotam o modelo de produção convencional de hortaliças com preparo convencional do solo, a redução da produtividade e as perdas de solo foram severas, em lavouras sob SPDH (Figura 1), mesmo sob temperaturas acima da média e chuvas intensas, não foram verificados os impactos negativos no rendimento das culturas nem a presença de erosão em áreas com elevada declividade (Epagri, 2024).

Em função da fragilidade do ambiente, o cultivo em áreas de montanha exige maior rigor quanto ao uso de práticas conservacionistas, a exemplo da sistematização do terreno e o emprego da cobertura permanente do solo com uso de plantas de cobertura implantadas e/ou espontâneas para propiciar melhorias das condições químicas, físicas e biológicas do ambiente produtivo.

Dessa forma, para iniciar o SPDH são necessárias diversas adequações do ambiente, começando pela: amostragem representativa do solo (0-10 e 10-20 cm de profundidade) para a avalição da fertilidade do solo para a identificação da necessidade da realização de calagem e adubações de correção; a identificação

da presença de camada ou horizontes compactados no perfil do solo e se estes estiverem presentes é necessária a sua eliminação; a sistematização do terreno em áreas declivosa; a semeadura de coquetel de plantas de cobertura adaptadas à região, para posterior rolagem das coberturas; e por fim o plantio da hortaliça de interesse econômico.

Para identificar a camada compactada recomenda-se a abertura de uma trincheira de aproximadamente 50 x 40 x 40 cm e o uso de uma faca para avaliar a resistência do solo à penetração. Quando a resistência à penetração da ponta da faca for elevada, a camada tende a ser muito compactada. Essa avaliação também pode ser complementada com a observação da distribuição das raízes no perfil, pois a presença de uma camada compactada dificulta e/ou impede o enraizamento uniforme e em profundidade. Para eliminação dessa camada é recomendado o uso de um implemento que atinja adequadamente a camada a ser rompida. Maiores detalhes sobre a avaliação do perfil do solo para iniciar o SPDH e os procedimentos para adequação podem ser encontrados no Guia Prático de Avaliação Participativa da Qualidade do Solo em Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (Comin *et al.*, 2020).

Quando for necessário realizar a sistematização do terreno para melhorar a conservação do solo e facilitar o plantio das hortaliças, das plantas de cobertura contidas no plano de rotação, dos tratos culturais e da colheita das plantas de interesse econômico, o procedimento mais utilizado é a construção de camalhão. Sempre que possível, recomenda-se sistematizar o terreno sem os camalhões para facilitar o manejo das plantas de cobertura com o rolo-faca e das plantas espontâneas com a roçadeira costal nas entrelinhas. Na sequência, deve-se realizar a semeadura das plantas de coberturas solteiras ou consorciadas para a produção de palhada que será depositada sobre a superfície e promovendo uma série de benefícios. Adicionalmente, o sistema radicular contribuirá na formação e proteção da estrutura do solo, além de melhorar a atividade da macro, meso e microfauna, dos micro-organismos, possibilitando uma maior incorporação de carbono no solo. No momento do transplante das hortaliças, as plantas de cobertura devem ser acamadas para proteger a superfície do solo.

No SPDH recomenda-se a adição de 10 Mg ha^{-1} ano de massa aérea seca, via plantas de cobertura, como gramíneas e leguminosas, que podem ser cultivadas sozinhas ou consorciadas nos períodos de entressafra, atuando como promotoras da saúde do solo. Essa quantidade de matéria seca depositada na superfície do solo, favorece o aumento dos estoques de carbono do solo (Sa *et al.*, 2015; Câmara, 2022) e propiciam melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Fayad *et al.*, 2019).

Este capítulo busca demonstrar como o SPDH modifica os atributos químicos, físicos, biológicos e a produtividade de hortaliças cultivadas em regiões montanhosas de Santa Catarina em longo prazo.

CULTIVANDO HORTALIÇAS EM SOLOS COM RELEVO ACIDENTADO

Cultivo de couve-flor no SPDH e SPC

A couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botritys*) é uma importante hortaliça dentro da família das Brassicaceae, com mais de 3.500 espécies dentro dessa família (Rueda, 2013). No estado de SC, a produção de couve-flor é abrangente, com destaque para a região da Grande Florianópolis (Epagri 2019).

Dentre os métodos de manejo do solo para a produção dessa hortaliça destaca-se o Sistema de Preparo Convencional (SPC), que vem sendo contestado ao longo dos anos por conta dos desequilíbrios causados a partir de sua adoção quando relacionado à sustentabilidade ambiental, visto que resulta em perda de solo, de biodiversidade, contaminação ambiental, elevados custos de produção, além de aumentar a susceptibilidade a insetos e doenças (Fayad ***et al.***, 2019; Sarandón; Flores, 2009). Por outro lado, o SPDH tem se tornado uma contraposição ao SPC para reduzir os impactos ambientais (Fayad ***et al.***, 2019), sendo difundido tanto como para a produção de couve-flor como para as mais diversas hortaliças, por oportunizar um escalonamento diversificado de cultivos em uma mesma área, o uso de plantas de cobertura e, consequentemente, o incremento de nutrientes e matéria orgânica do solo (MOS) (Müller Júnior ***et al.***, 2019).

Em experimento conduzido em propriedade rural, em Angelina (SC), em área com relevo acidentado, Dutra (2023) avaliou os atributos químicos e físicos do solo e a produtividade da couve-flor cultivada no SPDH e SPC (Figura 2). No SPC, o solo foi submetido à aração, gradagem e enxada rotativa, o que resultou em aumento da germinação do banco de sementes e na flora vegetativa do solo. Já no SPDH, a couve-flor foi plantada após o cultivo de plantas de cobertura, que incluíram aveia-preta no inverno seguido de mucuna e milheto no verão, com a movimentação do solo restrito à linha de plantio. A adubação química foi realizada igualmente em ambas as áreas, com NPK (15-00-15) seguindo as recomendações para a couve-flor (CQFS-RS/SC, 2016). No estudo citado (Dutra, 2023), a produtividade de couve-flor foi 36% maior no SPDH (25,1 Mg ha^{-1}) em comparação ao SPC (18,4 Mg ha^{-1}) em função da produção da matéria seca depositada sobre o solo (com a utilização da aveia-preta seguida do consórcio milheto + mucuna nesse sistema), que favoreceu a ciclagem de nutrientes e maior conteúdo de água no solo, refletindo em melhores

condições químicas e físicas do solo em comparação ao SPC, que não faz uso de plantas de cobertura e de práticas conservacionistas de manejo do solo.

Figura 2. Área de experimento com couve-flor em sistema de preparo convencional (SPC) e em plantio direto (SPDH) conduzido no município de Angelina/SC. Fonte: Dutra (2023).

A cobertura do solo e a presença de resíduos vegetais ou de plantas vivas sobre o solo, principalmente em ambientes de montanha, melhoram o ambiente edáfico (Robacer *et al.*, 2016; Scopel *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2021) e proporcionam a redução ou mesmo a supressão do desenvolvimento de plantas espontâneas (Comin; Ferreira *et al.*, 2018; Robacer *et al.*, 2016; Scopel *et al.*, 2013). O uso de plantas de cobertura é uma alternativa à utilização de herbicidas para o eminente controle de plantas espontâneas (Souza *et al.*, 2019), pela liberação de alelopáticos ou pelo efeito físico da palhada (Khan *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2019).

Em relação aos teores de carbono (C) e nitrogênio (N), Bayer *et al.* (2011) evidenciaram que o preparo do solo e o sistema de cultivo interferem diretamente nos estoques de C e N, considerando ainda que em casos de implementação de plantio direto ou a mínima mobilização do solo no cultivo mínimo, tem-se a estabilização de C e N no solo. No experimento conduzido em Angelina, Dutra (2023) encontrou maiores teores de C no SPDH, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-30 cm, sendo 52,7; 34,3; e 29,8 g kg^{-1} no SPDH e 28,6; 26,8; e 27,5 g kg^{-1} no SPC, respectivamente. Os teores de N também foram superiores no SPDH nas camadas 0-5, 5-10 e 10-30 cm, sendo 4,82; 3,02; e 2,53 g kg^{-1} no SPDH e 2,60; 2,31; e 2,30 g kg^{-1} no SPC, respectivamente.

Os menores valores de C e N encontrados no SPC (Dutra, 2023) são consequência do constante revolvimento do solo por meio de práticas convencionais de manejo, como aração e gradagem, que levam à ruptura dos agregados do solo, e assim

potencializam a mineralização de resíduos vegetais e as perdas de C e N para a atmosfera em forma de CO_2 e óxido nitroso (Câmara, 2022; Comin; Ferreira *et al.*, 2018; Giumbelli *et al.*, 2021).

Em relação aos atributos físicos do solo, Dutra (2023) também encontrou os menores valores de diâmetro médio geométrico (DMG) no SPC em comparação ao SPDH, em todas as camadas avaliadas. Esses valores estão associados aos processos de preparo do solo que foram utilizados no manejo desse tratamento, uma vez que tanto a aração como a gradagem promovem a quebra/rompimento dos macroagregados, causando redução significativa dos seus índices de agregação (Bayer *et al.*, 2004; Giumbelli *et al.*, 2021; Loss *et al.*, 2015).

Para a densidade do solo (Ds), os menores valores foram encontrados no SPDH (0,91 e 1,0 Mg m^{-3}) nas camadas 0-5 e 5-10 cm (Dutra, 2023). Os menores valores de Ds observados no SPDH estão associados à melhoria na estrutura do solo, como observado pelos maiores valores de DMG dos agregados e maiores teores de C e N, o que promove a diminuição da Ds. Além disso, no SPDH verifica-se a presença de plantas de cobertura sobre o solo que possuem características tanto de desenvolvimento aéreo como radicular ao longo do calendário agrícola. Dessa forma, as plantas de cobertura exploram o solo e adicionam C, o que aumenta o DMG e diminui a Ds em comparação ao SPC. Menores valores de Ds são indicativos de menor compactação do solo, e dessa forma significam em aumento na aeração e na capacidade de retenção e infiltração de água nesses solos (Guedes Filho *et al.*, 2013).

Os resultados do estudo conduzido por Dutra (2023) destacam a importância do SPDH em ambientes de montanha como uma alternativa sustentável e eficaz para o cultivo da couve-flor, proporcionando benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a produtividade agrícola.

Cultivo de cebola no SPDH e SPC

Atributos químicos e físicos e produtividade de cebola

A cebola (*Allium cepa* L.) é amplamente cultivada e consumida em todo o mundo. Santa Catarina é responsável por um terço da produção nacional da hortaliça, com destaque para a região do Alto Vale do Itajaí, onde as lavouras são conduzidas majoritariamente por agricultores familiares (EPAGRI/CEPA, 2021; IBGE, 2020). Nessa região, o principal sistema de cultivo ainda é o SPC, que quando adotado para o cultivo da cebola também propicia consequências negativas para a qualidade do solo e ocasiona a desagregação intensa e perda de solo por erosão hídrica e eólica, além de favorecer a redução dos teores de nutrientes e MOS (Giumbelli *et al.*, 2021; Loss *et al.*, 2017).

Para contornar essa situação, parte dos produtores de cebola já vem utilizando o SPDH. Esse sistema impacta significativamente os estoques de C e N no solo (Câmara, 2022; Comin; Vilanova *et al.*, 2018; Giumbelli *et al.*, 2021; Loss *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2017). Em experimento de longo prazo conduzido em Ituporanga (SC), em um Cambissolo Húmico sob relevo ondulado, foi comparada a eficácia do SPDH com o SPD e SPC no cultivo dessa hortaliça após 14 anos. Os resultados indicaram que o SPDH associado à sucessão de plantas de cobertura fixadoras de nitrogênio, como a mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), em consórcio com plantas de alta produtividade de massa seca, como o milheto (*Pennisetum americanum* L.), promoveu a formação de um ambiente favorável à manutenção da fertilidade do solo ao longo do tempo, o que também contribuiu para o aumento da produção de bulbos de cebola e a redução no uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Câmara, 2022). Esse estudo foi implantado em 2007 em Ituporanga e envolveu a semeadura de um mix de sementes que incluíram aveia preta (*Avena strigosa*), ervilhaca peluda (*Vicia villosa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) cobrindo a área designada, conforme ilustrado na Figura 3.

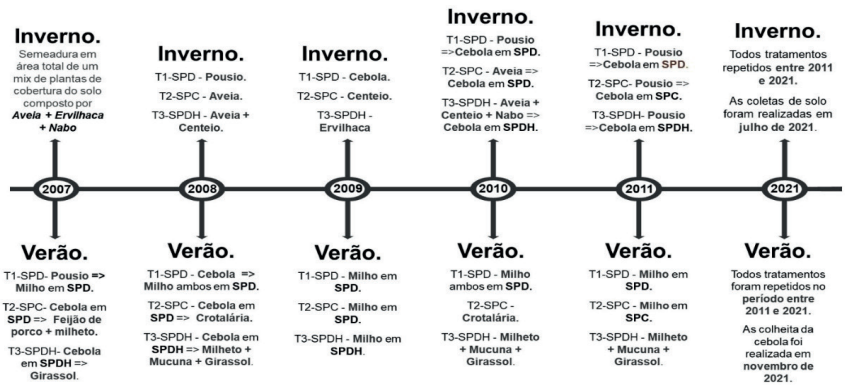


Figura 3. Linha do tempo com descrição dos cultivos ao longo de 14 anos de experimento com cebola em Ituporanga (SC). Espécies vegetais: aveia preta (*Avena strigosa*), cebola (*Allium cepa* L.), centeio (*Secale cereale* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum americanum* L.), mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) e Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). T1-SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; T2-SPC - sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas, porém a partir de 2011, em sistema de preparo de convencional do solo; e T3-SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada, o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente.

A partir do ano de 2011, o sistema de rotação do tratamento T2 do experimento citado anteriormente foi modificado, sendo adotada a sucessão de culturas e introduzido o SPC, passando a receber uma aração e duas gradagens antes do transplante das mudas de cebola para efeito de comparação com os demais tratamentos em SPDH e SPD. Os tratamentos foram planejados para representar os sistemas predominantes na produção de cebola na região. Verificou-se que a produção de massa seca das plantas de cobertura nos tratamentos sob SPDH e SPD produziram 10,9 e 10,5 Mg ha^{-1} de massa seca, respectivamente, superando as 10 Mg MS ha^{-1} preconizadas no SPDH. Por outro lado, o tratamento sob SPC acumulou 4,2 Mg ha^{-1}. Apesar desse valor ser inferior aos demais tratamentos, isso reflete a elevada biomassa produzida pelo milho, cultivado antes da cebola, e sua capacidade de permanecer no solo por um extenso período após o corte. Nota-se que, mesmo após a incorporação realizada durante o preparo do solo, essa quantidade considerável de MS permaneceu na superfície da área.

De acordo com os resultados encontrados por Câmara (2022), após 14 anos de experimentação com a cebola, os maiores teores de carbono orgânico total (COT) foram encontrados no tratamento sob SPDH, em todas as camadas analisadas, com exceção da camada 5-10 cm, onde não houve diferença em comparação ao tratamento SPD (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) em diferentes camadas do solo nos tratamentos Sistema de Plantio Direto (SPD), Sistema de Preparo Convencional (SPC) e Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), em experimento com cebola em Ituporanga (SC), no ano de 2021

Tratamentos	COT (g kg^{-1})			NT (g kg^{-1})		
	Camadas (cm)					
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30
SPD	28,43 b	27,57 ab	21,34 b	3,03 b	2,85 a	1,91 a
SPC	27,45 b	25,63 b	21,23 b	2,25 c	2,13 b	1,70 b
SPDH	42,63 a	30,42 a	23,23 a	4,12 a	2,81 a	1,87 ab
CV%	3,0	6,6	4,5	2,0	6,9	6,9

As médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem pelo teste t (LSD) a 5% de significância. Fonte: Câmara (2022).

Os menores teores de COT encontrados no SPC são resultantes do revolvimento periódico do solo que promove a ruptura da sua estrutura e aumenta a mineralização dos resíduos vegetais e da MOS, o que resulta em maior perda do C para a atmosfera na forma de CO_2 (Câmara, 2022; Comin; Ferreira *et al.*, 2018; Giumbelli *et al.*, 2021).

A similaridade entre os teores de COT dos tratamentos SPC e SPD é resultado das sucessivas incorporações dos resíduos vegetais do milho no SPC (de 2007 a 2021), os quais têm uma elevada relação C:N, o que favorece a imobilização de nutrientes, com decomposição lenta dos resíduos vegetais, ocorrendo o aumento dos teores de C no solo de forma similar ao verificado no SPD.

Devido à fixação de nitrogênio promovida por bactérias associadas à mucuna-preta, o tratamento SPDH recebeu uma adubação nitrogenada 25% menor que os tratamentos SPD e SPC. Ainda assim, ao longo dos anos de experimento, no SPDH foram verificados teores de nitrogênio total (NT) superiores aos demais tratamentos na camada de 0-5 cm (Tabela 1). Nas camadas de 5-10 cm e 10-30 cm, os teores de NT nos tratamentos SPDH e SPD não apresentaram diferenças, enquanto no SPC os valores foram menores em todas as profundidades. Esses resultados podem ser atribuídos à presença da leguminosa como planta de cobertura de verão no SPDH. A mucuna possui elevada capacidade de fixação biológica de nitrogênio, estimada em 185 kg ha^{-1} ano (Alvarenga *et al.*, 2001; Silva, 2020), o que favorece a maior concentração de nitrogênio na camada superficial do solo em função da decomposição e mineralização do material vegetal (Comin; Vilanova *et al.*, 2018). Os teores mais baixos de nitrogênio, na camada superficial, observados nos tratamentos em SPD e SPC, onde a palhada de milho predomina como resíduo vegetal, são atribuídos à liberação lenta dos nutrientes da biomassa vegetal na superfície do solo (Câmara, 2022). A alta relação C:N da palhada do milho retarda a disponibilização do nitrogênio, o que promove a imobilização do nutriente na biomassa (Santos *et al.*, 2014; Siqueira-Neto *et al.*, 2010).

Ainda nesse experimento, Câmara (2022) também verificou que o tratamento sob SPDH apresentou um DMG superior ao do SPC em todas as camadas analisadas, e foi maior que o valor encontrado para o tratamento SPD na camada superficial. Quanto à Ds, os menores valores foram observados no SPDH (0-10 cm), em comparação aos tratamentos SPD e SPC, que não apresentaram diferenças entre si nessas camadas. Os menores valores de Ds e maiores de DMG no SPDH na área de cultivo de cebola em ambiente de relevo ondulado são decorrentes do manejo adotado, com consequente aporte de biomassa seca sobre o solo e ausência de revolvimento em área total. Isso aumenta os teores de COT e NT (Tabela 1), com reflexos positivos na qualidade do solo e na produtividade da cebola.

Em experimento manejado sob SPDH na cultura da cebola com sucessão ou rotação de culturas, em comparação ao SPC de cebola, Comin, Vilanova *et al.* (2018) constataram que o SPDH gera alta estabilidade de agregados no solo, com predomínio de macroagregados, independente do sistema de sucessão ou rotação de culturas utilizado. Isso gera flexibilidade ao produtor de adotar uma sucessão ou rotação de culturas que for mais interessante para ele.

Segundo Câmara (2022), a produtividade média de cebola no SPDH alcançou 40,9 Mg ha^{-1}, superando os demais tratamentos. Os tratamentos SPD e SPC apresentaram resultados similares, com 34,8 e 33,6 Mg ha^{-1}, respectivamente. O aumento na produtividade no SPDH pode ser atribuído aos benefícios de uma maior produção de MS proveniente do consórcio mucuna-milheto-girassol, assim como ao aumento nos teores de N nesse tratamento, decorrente da fixação biológica associada à mucuna. O nitrogênio é o nutriente mais exigido pela cebola (Kurtz *et al.*, 2012). Embora a aplicação de N tenha sido reduzida de 160 para 120 kg ha^{-1} no SPDH, não houve diminuição na produtividade; pelo contrário, mesmo com uma dose de N mineral 25% menor em comparação aos outros tratamentos, o SPDH registrou uma produtividade média 20% superior à dos sistemas SPD e SPC. Isso evidencia a importância do uso de plantas fixadoras de nitrogênio, especialmente a mucuna-preta, nos cultivos de cobertura de solo.

O SPDH, empregando o consórcio de milheto, mucuna-preta e girassol para a produção de massa seca proporcionou maior eficiência na melhoria dos atributos químicos e físicos do solo. Na produção de cebola, o SPDH alcançou uma produtividade 18% superior ao SPD e 22% ao SPC, valores que ganham destaque diante da economia de 25% no uso de nitrato de amônio (Câmara, 2022). Dessa forma, destaca-se que o SPDH oferece benefícios econômicos e ambientais.

Atributos biológicos: enzimas e fungos micorrizicos arbusculares

O solo é um ambiente dinâmico e vivo que abriga diversos processos biológicos essenciais para a produção de alimentos, como a decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, controle de pragas e doenças, formação de agregados e a produção de diversos compostos químicos, e isso está relacionado aos organismos que ali residem (Moreira *et al.*, 2013). Um grama de solo abriga de 10^7 a 10^9 células vivas, com destaque às bactérias que representam o maior número de indivíduos, e os fungos que constituem a maior parte da biomassa microbiana do solo (Moreira; Siqueira, 2006). Compreender a atividade biológica, através de indicadores, é importante para a sustentabilidade no agroecossistema. Diante disso, a biomassa microbiana, a atividade enzimática e a diversidade de micro-organismos ganham destaque pela sensibilidade diante de modificações ambientais e representatividade da atividade biológica (Matsuoka *et al.*, 2023).

A biomassa microbiana, a maior parte da fração viva da MOS, inclui a microfauna e os micro-organismos (Dionísio *et al.*, 2016). As enzimas são proteínas catalisadoras que promovem reações químicas no meio sem alterações permanentes de sua estrutura, e no solo são produzidas pela microfauna e micro-organismos, principalmente na região rizosférica, e atuam diretamente na ciclagem de nutrientes e a decomposição

da palhada (Dick; Tabatabai, 1992). Por sua vez, o conhecimento da diversidade dos micro-organismos presentes no ambiente é importante pelas diferentes funções que exercem e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis.

A atividade enzimática no solo, derivada da ação microbiana, facilita funções cruciais, como decomposição orgânica, liberação de nutrientes e estabilização do solo (Bandyopadhyay; Maiti, 2021). Essa atividade é influenciada por fatores abióticos, como características edafoclimáticas e propriedades do solo, por práticas agrícolas, como cultivo de plantas de cobertura e rotação de cultivos, e pela matéria orgânica do solo (Falcão *et al.*, 2013; Frîncu *et al.*, 2015).

As enzimas comumente utilizadas como referência de indicadores da qualidade do solo de agroecossistemas são a b-glicosidase (EC 3.2.1.21[1])[1], a urease (EC 3.5.1.5)[1], a fosfatase ácida (EC 3.1.3.2)[1], a arilsulfatase (EC 3.1.6.2)[1] e aquelas associadas ao diacetato de fluoresceína (209-877-6)[1] (Pandey; Agrawal; Bohra, 2014; Sherene, 2017).

A β-glicosidase, produzida por fungos e plantas, está envolvida no ciclo do carbono no solo, e essa função bioquímica traz em si uma relevante relação entre a atividade microbiológica do solo com a crise climática contemporânea de aquecimento global, visto que a eficiência do uso de carbono por micro-organismos é um fator determinante para o armazenamento do carbono orgânico do solo e assume papel fundamental como sumidouro de carbono (Tao *et al.*, 2023).

A urease, amplamente presente na natureza, catalisa a hidrólise da ureia em gás carbônico (CO_2) e amônia (NH_3), com métodos de quantificação baseados na liberação de NH^{4+} (Dick; Breakwell; Turco, 1996; Tabatabai, 1994).

As fosfatases, ácidas ou alcalinas, são produzidas por micro-organimos e plantas e estão relacionadas ao ciclo do fósforo, catalisam a quebra de ésteres de fosfato orgânico e o transformam em formas assimiláveis pelas plantas e outros organismos. Sua atividade varia conforme o pH do solo e pode ser diminuída por doses altas de fertilizantes ricos em PO_4^{3-} (Dick; Breakwell; Turco, 1996).

A arilsulfatase é comum no solo e, geralmente, é excretada por bactérias em solos com baixo teor de enxofre, realizando a mineralização do enxofre no solo e liberação de sulfato assimilável pelas plantas (Tabatabai; Bremner, 1970).

A hidrólise do Diacetato de Fluoresceína (DAF) destaca-se por indicar de maneira ampla a atividade enzimática do solo, visto que é produzida por vários micro-organismos e é hidrolisada por várias enzimas, como lipases, proteases e esterases, indicando assim, de maneira geral, a atividade microbiana do solo (Tabatabai, 1994).

[1] Classificação da enzima a partir da Comissão de Enzimas (EC), de acordo com a função enzimática (o primeiro número distingue 1-oxiredutases, 2-transferases, 3-hidrolases, 4-liases, 5-isomerases e 6-ligases) (Zheng et al., 2018).

O manejo adotado no agroecossistema desempenha um papel fundamental nas alterações do solo, que pode ter impactos significativos no crescimento saudável das plantas. O redesenho de monocultivos sob SPC para sistemas de cultivo integrados com plantas de cobertura em rotação eleva os indicadores biológicos de qualidade do solo, com destaque para o SPDH.

O manejo em SPDH traz consigo diversos benefícios, principalmente à fase orgânica e solúvel do solo, reduz a amplitude da temperatura do solo, reduz escoamento superficial, erosão e lixiviação de nutrientes. Ainda, quando praticado de forma contínua, com geração de biomassa adequada (superiores a 10 Mg ha^{-1} ano^{-1}) (Fayad *et al.*, 2019), é capaz de elevar e estabilizar os teores de MOS, o que impacta diretamente na comunidade microbiológica e, consequentemente, nos indicadores do solo e na produtividade do sistema.

Esse padrão não é diferente em condições de agricultura de montanha. No município de Ituporanga, em áreas de plantio de cebola em SPDH por nove anos, foi observado o aumento no rendimento da cultura de 10 Mg ha^{-1} para 19-24 Mg ha^{-1} (Souza *et al.*, 2021) (Figura 4).

A) **B)**

Figura 4. Área experimental de SPDH de cebola em Ituporanga (SC). a) Área de SPDH de cebola de longo prazo em novembro, momento da coleta da cebola e desenvolvimento do cultivo de verão (feijão), ainda observa-se a permanência da palhada produzida no inverno (aveia-preta); b) Área de SPDH de longo prazo em março, com mucuna-preta, opção de planta de cobertura de verão.

O uso de plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas, influencia a atividade biológica do solo e isso pode ser estudado a partir dos indicadores já citados. Em área manejada com SPDH por oito anos em Ituporanga (SC), pousio e o SPC de cebola, verificou-se a redução de cerca de 20% no carbono microbiano no SPC em comparação as plantas de cobertura no inverno (Bortolini, 2022). Ao mesmo tempo, nas áreas com SPD e SPDH com pousio no inverno observou-se maiores níveis de respiração microbiana. Isso resultou em maiores quocientes de respiração (qCO_2) e a razão entre respiração e biomassa nestes últimos tratamentos foi até oito vezes maior que nos tratamentos com plantas de cobertura. O qCO_2 é um indicador de estresse da microbiota do solo, e aponta para uma maior degradação e, portanto, menor acúmulo de MOS. Nesse mesmo trabalho, a atividade de DAF avaliada no solo no período do transplante da olerácea foi reduzida a níveis entre metade e um terço pelo pousio e o SPC em comparação **à** presença das plantas de cobertura. Ainda nessa área experimental, após a condução da cebola por 13 anos em SPDH foi observado que a atividade da DAF nos tratamentos com presença de plantas de cobertura (aveia-preta ou nabo-forrageiro) foi superior ao pousio em até 52% (Tabela 2) no florescimento das plantas de inverno. Isso está relacionado à maior atividade biológica promovida pela presença das plantas de cobertura (Feng *et al.*, 2021).

Tabela 2. Atividade de diacetato de fluoresceína (DAF) (mg g^{-1} $solo^{-1}$ h^{-1}) em solo coletado em diferentes períodos com distintas sucessões de plantas em SPDH de longo prazo

Sucessão de plantas em SPDH	**Florescimento das Plantas de Cobertura de Inverno**
	Atividade DAF (mg g^{-1} $solo^{-1}$ h^{-1})
Aveia-preta (AV)/Cebola/Mucuna	35,8 a
Nabo-forrageiro (NF)/ Cebola/Mucuna	41,8 a
AV/Cebola/Soja	37,9 a
Pousio/Cebola/Mucuna	27,5 b
Pousio/Cebola/Milho	27,5 b
CV(%)	27,0

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si para Scott-Knott ($p < 0,05$). Fonte: Bortolini (2022).

A diversidade microbiana é essencial para as funções biológicas do solo, e no cultivo da cebola isso é ainda mais relevante visto que essa cultura possui sistema radicular concentrado na parte superficial do solo (Fayad *et al.*, 2019), o que pode limitar a exploração do solo em busca de recursos essenciais para o seu desenvolvimento. Com isso, há uma comunidade de fungos benéficos no solo que

se associam à hortaliça e promovem benefícios ao sistema, denominados fungos micorrízicos arbusculares (FMA), simbiontes obrigatórios, que se relacionam com mais de 80% das famílias de vegetais (Moreira; Siqueira, 2006).

O SPDH faz uso de plantas de cobertura, rotação de cultivos e um restrito revolvimento do solo, práticas que podem beneficiar a ação dos FMA no sistema (Ventura, 2022). Entretanto, ainda é pouco conhecido como se estrutura a comunidade de FMA nos sistemas agrícolas (Powell; Rillig, 2018). Ao avaliar a diversidade desses fungos em SPDH de cebola conduzido por nove anos com o uso de centeio e nabo-forrageiro solteiros e o consórcio entre eles, Ventura (2022) identificou, respectivamente, 11 e 21 espécies distintas de FMA nos tratamentos solteiros e no consórcio, a partir da morfologia de esporos (estrutura de reprodução dos fungos). Em ambos os tratamentos foi verificada a dominância de *Glomus* sp., *Funneliformis mossae*, *F. geosporum* e *Claroideoglomus etunicatum.* No mesmo ano, após o cultivo da cebola, foram encontradas, respectivamente, 15, 16 e 13 espécies de FMA nos tratamentos com histórico de centeio, nabo-forrageiro e no consórcio entre elas, o que demonstra a ação das plantas cultivadas na comunidade fúngica do agroecossistema, e nesse momento, quando em todos os tratamentos havia o cultivo da cebola ocorreu a homogeinização das espécies de FMA.

Outro aspecto que vem se destacando nos estudos de diversidade microbiana é o uso de abordagens moleculares que permitem uma ampla identificação com precisão da comunidade presente no ambiente (Gorzelak *et al.*, 2012). Em áreas de SPDH com cultivo de cebola por treze anos com aveia-preta e nabo-forrageiro solteiros e consorciados, e o pousio no inverno foram identificadas 75 unidades taxonômicas operacionais (OTU), com predominância dos gêneros *Glomus* (76%), *Claroideoglomus* (17%), *Acaulospora* (4%), *Diversispora* (2,2%), *Gigaspora* (0,5%) e *Paraglomus* (0,3%) (Giovanetti, 2022). O trabalho citado também destaca o efeito das espécies cultivadas nessa comunidade, visto que, ao final do inverno os tratamentos com plantas de cobertura apresentaram os gêneros *Glomus, Claroideoglomus, Acaulospora, Diversispora* e *Paraglomus*, enquanto, na área de pousio, além desses também foi observada *Gigaspora*, provavelmente pela diversidade de espécies espontâneas. Nesse mesmo trabalho foram quantificados o número de esporos e a fração de glomalina total, observando-se que após o cultivo de aveia-preta, planta de cobertura que estimula a associação com fungos micorrízicos, o número de esporos foi duas vezes maior que o encontrado no tratamento com nabo-forrageiro, planta que não estimula a associação com micorrizas, e também na área de pousio. Com relação à glomalina, glicoproteína produzida pelos FMA que ajuda na agregação do solo, nas áreas com o uso de aveia-preta foram verificados teores 13 e 25% superiores em comparação às de nabo-forrageiro solteiro e ao pousio, o que também demonstra a importância da seleção de espécies no sistema de plantio direto para o favorecimento da atividade micorrízica no ambiente (Bortolini *et al.*, 2021; Ventura *et al.*, 2022).

Cultivo de chuchu no SPDH e SPC

O chuchu (*Sechium edule*), da família das Cucurbitaceae, está entre as dez hortaliças mais consumidas no Brasil, que é o maior produtor mundial. Em Santa Catarina o chuchu é cultivado exclusivamente por agricultores familiares, sendo que a maior parte da produção se concentra na região da Grande Florianópolis, com destaque para os municípios de Antônio Carlos e Anitápolis, em que envolve aproximadamente 120 famílias com 170 ha cultivados, com produtividade média de 30 t ha^{-1} ano^{-1} em áreas manejadas em SPC, que ainda é o sistema predominante para o cultivo.

A adoção do SPDH no chuchu em agricultura de montanha tem se mostrado uma estratégia eficaz para a sua produção sustentável. Essa prática ajuda a preservar a estrutura do solo, reduz a erosão e promove a retenção de água, fatores cruciais em regiões subtropicais com chuvas frequentes e, especialmente, com relevo ondulado (Figura 5). Além disso, o emprego do SPDH no cultivo do chuchu contribui para a diminuição do uso de agroquímicos, pois a cobertura vegetal da palhada funciona como uma barreira natural contra plantas espontâneas. Esse manejo mais sustentável do solo beneficia não apenas o ambiente, mas também a saúde dos agricultores e a qualidade do produto final.

Figura 5. Cultivo de chuchu de longo prazo em Anitápolis, região da Grande Florianópolis, SC em agricultura de montanha. Foto: Marcelo Zanella.

O SPDH proporciona a redução da necessidade de preparo do solo e o menor uso de insumos agrícolas, o que resulta em economia de tempo e recursos financeiros para os produtores e, com isso, proporciona vantagens econômicas significativas. Além disso, a melhoria na estrutura do solo e o maior conteúdo de água no solo ocasiona maior produtividade ao longo do tempo, garantindo colheitas mais consistentes e rentáveis. Em relação **à** produtividade, a adoção do SPDH no cultivo do chuchu elevou a média de produtividade para aproximadamente 70 Mg ha^{-1} ano^{-1} e já atingiu 110 Mg ha^{-1} ano^{-1} (Marcelo Zanella, Comunicação Pessoal).

A adoção do SPDH nessa hortaliça em áreas com relevo ondulado proporciona uma série de benefícios para a saúde e a qualidade do solo, como o aumento nos teores de MOS, a melhoria da estrutura, a redução da erosão e a promoção da atividade biológica. No entanto, é essencial um manejo cuidadoso e adaptado às condições locais para maximizar esses benefícios e minimizar os impactos negativos potenciais, especialmente relacionados ao relevo das áreas de cultivo de montanha.

Em área cultivada com chuchu no SPDH em Anitápolis, SC, foi observado que esse sistema favoreceu o aumento dos estoques de COT e NT, especialmente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, quando comparado ao SPC (Tabela 3).

Tabela 3. Atributos químicos do solo em áreas manejadas sob sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) e sistema de preparo convencional (SPC), com cultivo de chuchu, e uma área de mata, em Anitápolis, SC

Atributos	SPDH (15 anos)			SPC (+ de 15 anos)			MATA		
	Camada de solo, cm								
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30
pH[1]	5,54	5,28	5,45	5,44	5,49	5,39	4,19	4,55	4,93
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	5,44	3,25	10,79	3,47	9,69	3,27	10,93	11,99	12,91
K (mg kg^{-1})[2]	120,00	70,00	30,00	123,33	106,67	100,00	83,33	46,67	30,00
P (mg kg^{-1})[2]	278,18	243,01	59,61	454,32	511,16	322,56	14,58	30,70	8,36
Al^{3+} ($cmol_c$ dm^{-3})[3]	0,06	0,11	0,26	0,08	0,09	0,11	3,81	4,86	4,42
Ca^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3})[3]	2,27	2,08	1,32	2,31	2,30	1,89	0,06	0,01	0,01
Mg^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3})[3]	2,26	1,78	1,16	1,55	1,40	1,48	0,09	0,09	0,06
$CTC_{ef.}$ ($cmol_c$ dm^{-3})[4]	4,89	4,15	2,82	4,26	4,06	3,73	4,17	5,07	4,56
$CTC_{pH7,0}$ ($cmol_c$ dm^{-3})[4]	10,28	7,30	13,35	7,64	13,66	6,89	11,29	12,21	13,05
COT (g kg^{-1})[5]	41,94	32,82	21,75	31,92	29,93	24,00	76,22	49,92	39,59
NT (g kg^{-1})[6]	4,22	3,28	2,26	3,33	3,06	2,38	6,05	4,55	3,74
DS (g cm^{-3})[7]	1,19	1,26	1,33	1,20	1,22	1,27	0,76	0,86	1,02
S ($cmol_c$ dm^{-3})[4]	4,83	4,05	2,56	4,18	3,97	3,62	0,37	0,22	0,14

m (%)[4]	1	3	10	2	2	3	91	96	97
V (%)[4]	54	55	24	55	35	52	5	2	2
Est. C (ton ha^{-1})	24,70	19,92	54,60	18,45	17,81	57,14	26,90	18,62	76,21
Est. N (ton ha^{-1})	2,48	1,99	5,68	1,92	1,82	5,67	2,14	1,70	7,19

[(1)]pH em água, relação solo:água de 1:1; [(2)]Extraídos com extrator Mehlich 1; [(3)]Extraídos com o extrator KCl 1 mol L^{-1}; [(4)]calculados conforme CQFS-RS/SC (2016); [(4)] S: soma de bases; [(4)]m: saturação da $CTC_{ef.}$ por Al^{3+}; [(4)]V: saturação por bases na $CTC_{pH7,0}$. [(4)]S:soma de bases; [(5)]COT: Carbono orgânico total determindo por oxidação com dicromato de potássio; [(5)]COT: carbono orgânico total; [(6)]NT: nitrogênio total; [(7)]DS: densidade do solo.

Observam-se altos teores de P e K nas áreas manejadas sob SPC (Tabela 3), acima dos preconizados para o chuchu (CQFS-RS/SC, 2016). Isso ocorre pelo uso intensivo de fertilizantes solúveis e cama de frango, produto muito utilizado nessas áreas, e como consequência podem ocorrer desequilíbrios nutricionais na cultura, deixando-a mais vulnerável ao ataque de pragas e doenças. Quanto aos teores de P nas áreas manejadas em SPDH, esses também foram considerados muito elevados devido ao histórico de adubações anteriores **à** adoção do SPDH. Dessa forma, reduzir as doses ou não aplicar fertilizantes em solos com elevados teores de nutrientes é uma das principais práticas adotadas no cultivo de chuchu sob SPDH, visando maximizar a lucratividade, promover a saúde das plantas, melhorar a qualidade do solo e ambiental, além de promover a saúde do agricultor e de todos os atores envolvidos.

Cultivo da mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza* var. Bancroft)

Cultivo no SPDH na agricultura de montanha

O cultivo da mandioquinha-salsa em regiões de agricultura de montanha, principalmente na comunidade de Rio Fortuna, município de Angelina (SC), teve início no final da década de 1990 sob SPC, com intensa movimentação do solo e uso de agroquímicos, com ênfase nas doses de NPK, fungicidas e inseticidas. Tal manejo implicava elevados custos econômicos e ambientais. Diante dessa problemática, em meados da década de 2000, a equipe de extensionistas e pesquisadores da Epagri, conjuntamente com professores e alunos do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) iniciaram trabalhos com o método do SPDH (Figura 6).

(A) (B)

Figura 6. Áreas de mandioquinha-salsa manejadas no SPDH em fase inicial de desenvolvimento (A) e em fase de colheita (B), conduzidas em agricultura de montanha, objetivando a transição agroecológica com aumento da produtividade e baixo custo econômico e ambiental na comunidade de Rio Fortuna, Angelina, SC. Fotos: Marcelo Zanella.

Em experimentos conduzidos nos anos de 2012 e 2013 para determinar o acúmulo de matéria seca e sua partição, foi observado na produção de um total de 636 g planta^{-1}, que foram distribuídos nas folhas, nos perfilhos e na raiz nas quantidades de 165 g, 255 g e 216 g, respectivamente. O total de raízes comercializáveis chegou a 927 g planta^{-1}, colhidos aos doze meses de idade.

Resultados obtidos nas lavouras de estudos relacionando o pH com saúde de planta indicou que a mandioquinha é acidófila, desenvolvendo-se com mais saúde em pH na faixa de 5,3 a 5,8. Paralelamente, em Ituporanga, SC, foi determinada a dinâmica do acúmulo de nutrientes na mandioquinha, apresentando o total absorvido de N, P, K, Ca e Mg de 10,1; 1,64; 23,35; 1,91; e 6,41 g planta^{-1}, respectivamente. Para Fe, Mn, Zn, Cu e B os acúmulos foram de 82,8; 3,76; 11,5; 5,9; e 5,1 mg planta^{-1}, respectivamente. Observou-se que as TMA (Taxa Mensal de Absorção) acompanharam as taxas de crescimento mensais (R) e, consequentemente, as TMAmax também coincidiram com as máximas de acúmulo mensal de matéria seca que ocorreram no décimo mês após o plantio da muda com 258 g planta^{-1}. Para o N, P, K e Mg também ocorreu no décimo mês e para Ca no nono mês com os valores 3,9; 0,50; 7,48; 0,64; e 0,60 g mês^{-1} planta^{-1}, respectivamente. Para Fe, Mn, Zn, Cu e B as TMAmax aconteceram no décimo mês, com valores de 39,5; 1,39; 5,14; 2,93; e 2,09 mg mês^{-1} planta^{-1}, respectivamente (Fayad *et al.*, 2018).

Em outros dois experimentos conduzidos para uma maior compreensão da dinâmica de absorção de P pela mandioquinha-salsa em lavouras de estudos na

comunidade de Rio Fortuna, Angelina, SC, não se verificou resposta a níveis maiores que 25 mg kg^{-1} em áreas com 300 g kg^{-1} de argila (Fayad *et al.*, 2018) (Figura 7).

(A) **(B)**

Figura 7. Instalação de experimentos de mandioquinha-salsa com doses de P em duas lavouras de estudos (A) e perfil cultural do solo manejado no SPDH por mais de dez anos (B). Fotos: Marcelo Zanella.

Nessa cultura, as plantas de cobertura são manejadas com rolo-faca a partir da fase de grão leitoso até grão farináceo. Quanto mais próximo da fase de grão farináceo mais fibrosa será a palhada, aumentando o tempo de cobertura do solo. Na Figura 8 observa-se a presença da palhada da aveia-preta cobrindo o solo com a mandioquinha salsa. A utilização de herbicidas no manejo das culturas simplifica o sistema, já que elimina ou diminui a diversidade de adubos verdes cultivados e espontâneos, acelera o processo de decomposição da fitomassa e interfere na diversidade da biota do solo. As raízes e hifas são importantes agentes agregantes com ação física e biológica. A simplificação desse ambiente torna o solo vulnerável à compactação, à erosão e favorece os estresses das plantas por deficiência e/ou excesso de nutrientes e água e por variações excessivas de temperaturas.

Figura 8. Lavoura de mandioquinha-salsa conduzida em SPDH aos 120 dias de cultivo, com persistência e durabilidade na palhada de aveia manejada mecanicamente sem uso de herbicidas. Foto: Marcelo Zanella.

Para diminuir os efeitos negativos abordados anteriormente e promover gradativamente um ambiente que aumente o conforto das plantas é necessário diminuir as causas dos estresses. Assim, é recomendado reduzir ao máximo a movimentação do solo e cultivar os adubos verdes e as plantas espontâneas nas épocas de entressafra da hortaliça. No período de inverno é recomendado cultivar aveia-preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*), tremoço azul (*Lupinus angustifolius*) ou branco (*Lupinus albus*), ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) ou um coquetel de plantas (com três ou mais espécies), sendo a opção mais aceita e utilizada a composição com aveia preta + ervilhaca comum + nabo forrageiro. No período de verão são indicados os cultivos de milho (*Zea mays*), milheto (*Penissetum americanum*), mucuna (*Strizolobium aterrimum*), crotalária (*Crotalaria juncea*), girassol (*Helianthus annuus*) e papuã (*Brachiaria plantaginea*), sendo o seu coquetel o mais indicado, como o de girassol + milheto + mucuna. Essa prática objetiva a construção progressiva da biodiversidade na área de cultivo, evitar o estresse nutricional, diminuir fontes de inóculo de oportunistas, aumentar a diversidade de inimigos naturais e contribuir com a melhoria da estrutura do solo. Essa prática também possibilita, em longo prazo, estabilizar a produção e diminuir manchas de fertilidade horizontal e vertical do solo na área cultivada.

Com o lançamento de duas novas cultivares de mandioquinha-salsa (SCS381 Coqueiral e SCS380 Inca) pela Epagri, que superam em três vezes a produtividade da cv. tradicional Senador Amaral em SC, cultivadas em áreas manejadas no SPDH, ocorreu redução acentuada no custo econômico das lavouras, chegando a reduzir 70%, principalmente no uso de NPK, hora máquina, fungicidas, herbicidas e inseticidas. Também ocorreu a melhoria em diversos atributos do solo e o aumento do conforto no trabalho. Esses avanços possibilitaram alcançar e manter altas produtividades mesmo na ausência de irrigação. Outro ponto a salientar foi o aumento significativo na infiltração da água da chuva, sendo duas vezes superior às áreas convencionais, o que causou a eliminação dos processos de erosão nas áreas de cultivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de hortaliças, como chuchu, couve-flor, cebola e mandioquinha-salsa em ambiente de montanha no SPDH se mostra uma alternativa viável e rentável na busca de índices de produtividades, aliados **à** resiliência às mudanças climáticas e baixos impactos ambientais. Tem sido evidente a melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos nos solos cultivados nesse sistema e ambiente. Um ponto importante é selecionar as espécies de cobertura utilizadas com foco na promoção da saúde do solo e na melhoria dos seus atributos.

Dentre os atributos químicos, físicos e biológicos avaliados em áreas montanhosas com cultivo de hortaliças, destacam-se o carbono orgânico total, a agregação do solo, as enzimas e as micorrizas, que foram mais sensíveis para evidenciar as melhorias no solo cultivado com o SPDH em comparação ao SPC.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos números 311474/2021-7 (PQ1D), 312876/2023-8 (PQ2), 307410/2021-8 (PQ2), 305471/2023-6 (PQ2), 405026/2021-8 (Universal) e 406447/2023-3 (Universal).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

BANDYOPADHYAY, S.; MAITI, S. K. Different Soil Factors Influencing Dehydrogenase Activity in Mine Degraded Lands - State-of-Art Review. **Water, Air, and Soil Pollution**, 232, N/A, 2021.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2011. v. 7, p. 55-117.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BORTOLINI, J. G. *et al.* Soil Carbon, Glomalin, And Aggregation in Onion Crop Under No-Tillage with Cover Crops or Conventional Tillage Systems for Eight Years. **Journal of Agricultural Studies**, v. 9, n. 2, p. 130, 2021.

BORTOLINI, J. G. **Plantas de cobertura**: influência nos atributos físicos, químicos e biológicos em solo sob sistema agroecológico de cultivo de cebola (*Allium cepa* L.). 2022. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1635-1646, 2009.

CÂMARA, P. H. S. **Influência da complexidade de diferentes sistemas de cultivo de cebola na emissão de gases de efeito estufa**. 2022. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

COMIN, J. J.; FAYAD, J. A.; KURTZ, C.; MAFRA, A. L.; CURMI, P. Guia de avaliação participativa da qualidade do solo. Porto Alegre: A Granja, n. 860, p. 47-49, 2020.

COMIN, J. J.; FERREIRA, L. B.; SANTOS, L. H.; KOUCHER, L. P.; MACHADO, L. N.; SANTOS JUNIOR, E.; MAFRA, A. L.; KURTZ, C.; SOUZA, M.; BRUNETTO, G.; LOSS, A. Carbon and nitrogen contents and aggregation index of soil cultivated with onion for seven years using crop successions and rotations. **Soil & Tillage Research**, v. 184, p. 195-202, 2018.

COMIN, J. J.; VILANOVA, C. C.; KURTZ, C.; MULLER JUNIOR, V.; VENTURA, B. S.; REIS, M. S.; BRUNETO, G.; LOVATO, P. E.; SOUZA, M. Avaliação fitossociológica de plantas invasoras em cultivo de cebola sob sistema plantio direto sem uso de agrotóxicos. **Revista de La Facultad de Agronomía (La Plata)**, v. 117, p. 197-206, 2018.

CQFS-RS/SC. Comissão de Química e Fertilidade do Solo-RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre, SBCS - NRS /UFRGS, 2016. 376 p.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil Enzyme Activities and Biodiversity Measurements as Integrative Microbiological Indicators. *In:* DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for Assessing Soil Quality**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1996. p. 247-271.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Significance and potential uses of soil enzymes. *In:* METTING JR, F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology**: applications in agricultural and environmental management. New York: Marcell Dekker, Inc., 1992. p. 95-130.

DIONISIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; PAULA, A. M.; MACEDA, A.; MATANNA, A. L. **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba: SBCS: NEPAR, 2016.

DUTRA, B. R. **Gases de efeito estufa e atributos edáficos em sistemas de plantio direto e convencional de couve-flor**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2023.

EPAGRI. Agricultor de Angelina comprova a eficiência do SPDH diante de calor excessivo e de chuva intensa em SC. 2024. Disponível em: https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2024/02/19/agricultor-de-angelina-comprova-a-eficiencia-do-spdh-diante-de-calor-excessivo-e-de-chuva-intensa-em-sc/

EPAGRI. **Infoagro**: Produção Vegetal. 2019. Disponível em: https://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-vegetal

EPAGRI/CEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2019-2020**. 41. ed. Florianópolis. v. 1. 2020.

FALCÃO, J. V. *et al.* Qualidade do solo cultivado com morangueiro sob manejo convencional e orgânico. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 43, p. 450-459, 2013.

FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**. São Paulo-SP: Editora Expressão Popular, 2019. 432 p.

FAYAD, J. A.; COMIN, J. J.; KURTZ, C.; MAFRA, A.; MADEIRA, N. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH)**: o cultivo da mandioquinha-salsa. Florianópolis: Epagri (Boletim Didático, 147), 68 p. 2018.

FENG, H.; SEKARAN, U.; WANG, T.; KUMAR, S. On-farm assessment of cover cropping effects on soil C and N pools, enzyme activities, and microbial community structure. **Journal of Agricultural Science**, 159(3-4), 216-226. 2021.

FERREIRA, A. M. C.; AQUINO, A.; LINHARES, R.; SILVA, L. L.; OLIVEIRA, L. R.; NUNES, F. A. Transição agroecológica em agricultura de montanha, estudos comparando Brasil e Argentina. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, 1-5, 2018.

FERREIRA, C. S.; LIMA, S. S.; SAMPAIO, I. U. M.; RAMOS, A. P.; COELHO, I. S.; PEREIRA, M. G. **Agricultura em ambiente de montanha, economia ecológica, território e desenvolvimento sustentável**: perspectivas e desafios - Volume 3. Editora Científica Digital, 2023, v. 1, p. 162-179.

FREIDENREICH, A. ***et al.*** Influence of Leguminous Cover Crops on Soil Chemical and Biological Properties in a No-Till Tropical Fruit Orchard. **Land**, v. 11, n. 6, 2022.

FRÎNCU, M.; DUMITRACHE, C.; DUMITRIU, A. C. Soil fertility assessment through enzyme activity. **Journal of Young Scientist**, v. III, 2015.

GIOVANETTI, L. K. **Diversidade de plantas espontâneas e de fungos micorrízicos arbusculares em sistema de plantio direto com cebola e culturas de cobertura micotróficas e não micotróficas.** 2022. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

GIUMBELLI, L. D.; LOSS, A.; KURTZ, C.; MAFRA, Á. L.; PICCOLO, M. C.; TORRES, J. L. R.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Combinations of Plant Species for Rotation With Onion Crops: Effects on the Light Fraction, Carbon, and Nitrogen Contents in Granulometric Fractions of the Soil Organic Matter. **Journal of Agricultural Studies**, v. 9, n. 1, p. 202, 2021.

GORZELAK, M. A.; HOLLAND, T. C.; XING, X.; HART, M. M. Molecular approaches for AM fungal community ecology: A primer. **Journal of Microbiological Methods**, v. 90, p. 108-114, 2012.

GUEDES FILHO, O.; DA SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, *[S. l.]*, v. 204-205, p. 94-101, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Cebola no Brasil**. 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cebola/br. Acesso em: 5 jun. 2022.

KHAN, Z.; MIDEGA, C.; PITTCHAR, J.; PICKETT, J. Desenvolvimento de plantas de cobertura para o manejo de plantas específicas: uma abordagem sobre a liberação de compostos alelopáticos. **Fronteiras na Ciência das Plantas**, 9, 1429, 2018.

KURTZ, C.; ERNANI, P. R.; COIMBRA, J. L. M.; PETRY, E. Rendimento e conservação de cebola alterados pela dose e parcelamento de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 865-876, 2012.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIM, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Rev Bras Cienc Solo**. 2015;39:1212-24.

LOSS, A.; JUNIOR, E. S.; SCHMITZ, D.; DA VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105-113, 2017.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 27, n. 3, 2023.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 2006. 729 p.

MÜLLER JÚNIOR, V. ***et al.*** Nitrous Oxide Emissions in No-Tillage Onion (*Allium cepa* L.) Crops Are Increased by Oilseed Radish Cover Crop and Poultry Manure Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; BOHRA, J. S. Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 51-60, mar. 2014.

POWELL, J. R.; RILLIG, M. C. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. **New Phytologist**, v. 220, n. 4, p. 1059-1075, 2018.

ROBACER, M.; CANALI, S.; KRISTENSEN, H. L.; BAVEC, F.; MLAKAR, S. G.; JAKOP, M.; BAVEC, M. Cover crops in organic field vegetable production. **Scientia Horticulturae**, 208:104-110, 2016.

RUEDA, E. E. P. **Utilização de altas diluições na produção orgânica de repolho, brócolis e couve-flor**. 2013. 67 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKEI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon Depletion by Plowing and its Restoration by No-Till Cropping Systems in Oxisols of Subtropical and Tropical Agro-Ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, p. 531-543, 2015.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1855-1861, 2014.

SANTOS, L. H.; CANTON, L.; VENTURA, B. S.; FERREIRA, G. W.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E.; LOSS, A. Chemical Properties in Macroaggregates of a Humic Dystrudept Cultivated with Onion under No-Till and Conventional Tillage Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-13, 2017.

SARANDÓN, S. J.; FLORES, C. C. Evaluación de la Sustentabilidad En Agroecosistemas: Una Propuesta Metodológica. **Agroecología** 4: 19-28, 2009.

SCOPEL, E.; TRIOMPHE, B.; AFFHOLDER, F.; SILVA, F. A. M.; CORBEELS, M.; XAVIER, J. H. V.; LAHMAR, R.; RECOUS, S.; BERNOUX, M.; BLANCHART, E.; MENDES, I. C.; TOURDONNET, S. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 33(1): 113-130, 2013.

SHERENE, T. Role of soil enzymes in nutrient transformation: a review. **Bio Bulletin**, v. 3, n. 1, p. 109-131, 2017.

SILVA, E. M. R.; SUDO, A.; ALMEIDA, D. L.; MATOS, R. M. B.; PEREIRA, M. G.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, C. T. T. **Ocorrência e Efetividade de Fungos Micorrízicos em Plantas Cultivadas**. (Documentos, n. 83). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 27 p.

SILVA, R. **Potencial da Mucuna Preta como adubo verde para o arroz-de-sequeiro em Latossolo Amarelo da Amazônia**. 2020. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 923-936, 2010.

SOUZA, M.; LOVATO, P. E.; COMIN, J. J.; LIMA, A. P.; KUHNEN, S. Phenolic Compounds with Allelopathic Potential of Secale cereale L. and *Raphanus sativus* L. Grown Under an Agroecological No-Tillage System. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-12, 2019.

SOUZA, M.; VARGAS, M. M. M.; VENTURA, B. S.; JÚNIOR, V. M.; SOARES, C. R. F. S.; KURTZ, C.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Microbial activity in soil with onion grown in a no-tillage system with single or intercropped cover crops. **Ciencia Rural**, 50(12), 1-11, 2020.

SOUZA, M.; MÜLLER JÚNIOR, V.; KURTZ, C.; SANTOS, B. V.; LOURENZI, C. R.; LAZZARI, C.; FERREIRA, G. W.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; COMIN, J. J. Soil chemical properties and yield of onion crops grown for eight years under no-tillage system with cover crops. **Soil & Tillage Research**, v. 208, p. 104897, 2021.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes*. In:* WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S. (Eds.). **Methods of soil analysis. Part 2 – Microbiological and biochemical properties**. Soil Sci Soc Am, Madison, WI, 1994, p. 775-833.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., v. 34, p. 225-229, 1970.

TAO, F. *et al.* Microbial carbon use efficiency promotes global soil carbon storage. **Nature**, 618(7967), 981-985, 2023. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06042-3

VENTURA, B. S. **Efeitos da micotrofia de plantas de cobertura na ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares e na disponibilidade de fósforo para cebola em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH)**. 2022. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

VENTURA, B. S. *et al.* Soil phosphorus availability and uptake by mycorrhizal and non-mycorrhiza plants in an onion no-tillage system. **Ciência Rural**, v. 51, n. 10, e20200740, 2021.

WATTEAU, F.; VILLEMIN, G. Soil microstructures examined through transmission electron microscopy reveal soil-microorganisms interactions. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, 2018.

ZALAMENA, J. **Plantas de cobertura na redução do vigor da videira em solo com alto teor de matéria orgânica**. Tese de doutorado – Universidade do Estado de Santa Catarina, 2012.

ZHENG, W. *et al.* Changes in the soil bacterial community structure and enzyme activities after intercrop mulch with cover crop for eight years in an orchard. **European Journal of Soil Biology**, v. 86, p. 34-41. 2018.

CAPÍTULO 8

CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR METAIS PESADOS EM AGROECOSSISTEMAS DE MONTANHA: O CASO DA REGIÃO SERRANA DO RIO DE JANEIRO

Erica Souto Abreu Lima
Professora Adjunta
Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Leonardo Durval Duarte Guimarães
Professor Associado
Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Camila da Costa Barros de Souza
Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

Farley Alexandre da Fonseca Breda
Consultor Ambiental.
Doutor em Agronomia – Ciência do Solo.
RJ099, 722A, Piranema, Seropédica

Daniel Vidal Pérez
Pesquisador da Embrapa Solos
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ

Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho
Professor Titular
Departamento de Agrotecnologias e Sustentabilidade
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas de montanha ou de encosta, ocupam em média 25% da superfície terrestre e constituem a base direta do sustento de quase 12% da população mundial, proporcionando bens e serviços básicos para a população (López Netto

et al., 2022). Apresentam grande importância do ponto de vista ambiental, sendo caracterizados pelo seu clima propício para o cultivo de várias culturas durante todo o ano, principalmente de espécies exigentes de temperaturas mais amenas. No entanto, segundo o relatório *Mountain Farming is Family Farming* a agricultura de montanha, se mal manejada, pode comprometer a oferta mundial de alimentos e de água potável (Wymann Von Dach *et al.*, 2013).

Segundo Ferreira *et al.* (2023), o uso intensivo desses ambientes com sucessivos ciclos de produção associados a práticas inadequadas de manejo e uso do solo, tem colaborado para diversos problemas, que podem favorecer a degradação desses ambientes, influenciando não só os ambientes de montanha, como também as áreas do entorno. As atividades antrópicas desenvolvidas nessas áreas impactam esses ecossistemas que são muito frágeis, quando promovem a degradação do solo, principalmente, pelo desmatamento, intensificação dos processos erosivos, contaminação por metais pesados e pelo assoreamento e contaminação dos cursos d'água superficiais e subsuperficiais (Wymann Von Dach *et al.*, 2013).

Esses impactos têm sido observados por vários autores na Região Serrana do Rio de Janeiro, importante área produtora de hortaliças no Brasil (Barbosa *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2022; Sousa *et al.*, 2020). Os autores reforçam que, a contaminação dos solos por metais pesados favorece a absorção desses elementos pelas hortaliças cultivadas, comprometendo a qualidade dos alimentos produzidos na região, representando risco à saúde humana pelo consumo de tais hortaliças.

No Brasil, a exploração agrícola sustentável em áreas de montanha ainda é muito incipiente. Entretanto, em várias regiões do planeta, já ocorrem formas sustentáveis de exploração, com menor impacto ao meio ambiente, como na região andina, na Europa e na Ásia (López Netto *et al.*, 2022). Nesse sentido, a compreensão desse ambiente e suas interações é essencial para o desenvolvimento de um planejamento de gestão de uso das terras que garanta produtividade em longo prazo, e contribua para a manutenção da biodiversidade e a realização de outros serviços ecossistêmicos (Lima *et al.*, 2018). Para tal, é de extrema importância a adoção de práticas sustentáveis, considerando as características particulares desses ambientes, bem como um monitoramento e avaliação do uso dessas regiões.

Nesse capítulo objetiva-se mostrar o impacto da agricultura de montanha na Região Serrana do Rio de Janeiro, sobretudo pelo uso de fertilizantes, de esterco de galinha e de agrotóxicos, que são fontes de metais pesados, na qualidade ambiental e dos alimentos.

LEVANTAMENTO HISTÓRICO DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS REALIZADAS NA REGIÃO SERRANA, RJ

Dentre as cinco regiões do país, a sudeste é a 3ª maior região em número de propriedades rurais, com 922.049 propriedades; e dessas, 77% são caracterizadas como unidades de produção familiar. Na região sudeste, o estado do Rio de Janeiro é o que apresenta o menor número de propriedades rurais, com 58.482 propriedades, abrangendo uma área total de 2.048.973 hectares. Porém o estado é o segundo maior produtor de hortaliças do país, e a Região Serrana a principal região produtora do estado, com o predomínio de agricultura familiar (IBGE, 2017; Ribeiro, 2019). A Região Serrana do estado do Rio de Janeiro é considerada umas das áreas de maior concentração de agricultores familiares do estado, cujo foco da produção são oleráceas, as mais diversas possíveis, pois visam o abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e grande parte da região sudeste, fazendo com que seja considerada o principal polo agrícola do estado (Grisel; Assis, 2012; Grisel; Assis, 2015; IBGE, 2017; Lima *et al.*, 2018; Santos *et al*., 2021).

A Região Serrana se divide em 14 municípios: Cantagalo; São Sebastião do Alto; Carmo; Santa Maria Madalena; Macuco; Duas Barras; Sumidouro; Cordeiro; Trajano de Morais; São José do Vale do Rio Preto; Bom Jardim; Teresópolis; Nova Friburgo; e Petrópolis, totalizando uma área de 6.881,91 km^2 (Figura 1). Boa parte dos municípios localizados nessa região possui como principal atividade econômica a produção de hortaliças, as quais são geralmente comercializadas na CEASA-RJ, abastecendo a região metropolitana do Rio de Janeiro (EMATER, 2017; Ribeiro, 2019).

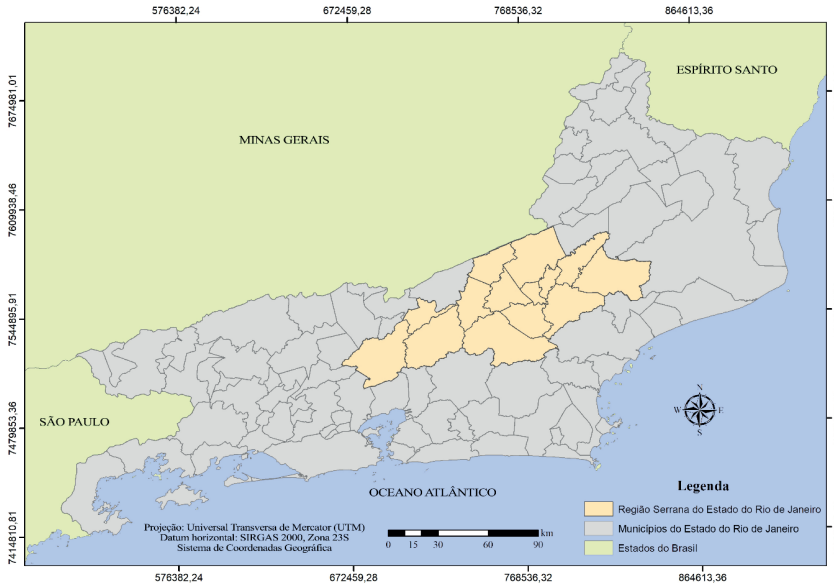


Figura 1. Mapa do estado do Rio de Janeiro com destaque para área de estudo, Região Serrana, RJ.

O clima da região é propício ao cultivo de diferentes espécies hortícolas durante todo o ano, com destaque para o cultivo de espécies exigentes em frio no inverno, e de espécies exigentes em temperaturas amenas no verão. A temperatura média anual é de 18,8 ºC, sendo fevereiro o mês mais quente (22,1 ºC) e julho o mês mais frio (15,2 ºC). Já a precipitação média anual é de 1.808 mm com maior concentração de chuvas durante o verão (Grisel; Assis, 2012; Grisel; Assis, 2015; Assis; Aquino, 2018; Santos et al., 2021). Essas condições climáticas são favoráveis ao cultivo de hortaliças representativas do modelo de agricultura adotado nessa região montanhosa (Bhering *et al.*, 2017; Assis; Aquino, 2018; Santos et al., 2021).

De acordo com a EMATER (2017), as principais espécies cultivadas na Região Serrana são:

- Hortaliças de folha: alface, agrião, brócolis, cebolinha, chicória, coentro, couve, couve-flor, espinafre, repolho, rúcula e salsa;
- Hortaliças de fruto: abobrinha, berinjela, ervilha, jiló, pepino, pimenta, pimentão, quiabo, tomate e vagem;
- Hortaliças de raiz: aipim, batata inglesa, batata doce, beterraba, cará, cenoura, inhame e nabo.

A partir das décadas de 1960 e 1970, com os efeitos dos pacotes tecnológicos da "Revolução Verde", novas formas de produção visando otimizar as pequenas áreas agricultáveis foram adotadas na região. Assim, ocorreu a introdução de novas espécies vegetais de ciclo curto e valor agregado, mecanização, irrigação e utilização intensiva de agroquímicos. O preparo do solo que antes era realizado em nível com arado de bois, passou a ser realizado com arados de discos em tratores no sentido a favor da pendente (morro abaixo), sob arações profundas que favoreceram os processos erosivos em decorrência da declividade acentuada da Região Serrana (Grisel; Assis, 2012; Ribeiro, 2019).

As mudanças nas práticas agrícolas possibilitaram o aumento da produção, assim como o cultivo em períodos secos. No entanto, as terras que antes eram mantidas em pousio após os plantios passaram a ser cultivadas sucessivamente, com até 4 ciclos de cultivo por ano, não havendo mais período para a renovação natural da fertilidade, sendo utilizadas grandes quantidades de adubos minerais, e "cama de aviário" para a melhoria da fertilidade. Diante à redução da diversidade de espécies cultivadas, problemas fitossanitários passaram a ser verificados, necessitando de constantes aplicações de pesticidas para o controle (Grisel; Assis, 2012; Ribeiro, 2019).

Os adubos minerais aplicados nos cultivos proporcionam uma rápida disponibilização de nutrientes e metais para as plantas em decorrência de sua elevada solubilidade (Aydin *et al.*, 2010; Baldantoni *et al.*, 2016), ao passo que a cama de aviário altamente utilizada como adubo orgânico na região, é geralmente, aplicada sob o solo de forma "fresca", sem nenhuma compostagem prévia, possibilitando a disponibilização de nutrientes e metais pesados presentes em sua composição ao longo do tempo, visto que, o material orgânico ainda precisa ser decomposto e mineralizado para a disponibilização dos elementos presentes (Ribeiro, 2019).

De um modo geral, atualmente o cultivo de hortaliças na região é feito de forma intensiva por agricultores familiares, em pequenas propriedades, e com uso massivo de adubos minerais e adubação orgânica. Os solos da região são predominantemente ácidos, localizados em áreas de relevo declivoso e manejados intensivamente sem adoção de práticas conservacionistas (Assis; Aquino, 2018; Bhering *et al.*, 2017; Franco *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2018; Matos, 2016). Para algumas hortaliças, como as folhosas, por exemplo, a intensificação da produção tem levado ao alcance de até quatro ciclos anuais em uma mesma área (Grisel; Assis, 2015; Santos, 2021).

As formas de relevo da região e a baixa adesão às práticas conservacionistas facilitam o transporte de frações de menor tamanho, com destaque para a fração argila, e seu acúmulo nas partes mais baixas da paisagem (Lima *et al.*, 2018). Como consequência, observa-se a diminuição da fertilidade natural dos solos com o passar dos anos e um aumento da dependência no uso de fertilizantes a fim de se

restabelecer os níveis de fertilidade do solo (Grisel; Assis, 2012; Grisel; Assis, 2015). A produção intensiva e o manejo inadequado do solo e das culturas, juntamente com o relevo acidentado da região, têm gerado uma grande problemática com relação à contaminação do solo, produtos agrícolas e recursos hídricos, limitando a sustentabilidade dos sistemas agrícolas da Região Serrana (Araújo *et al.*, 2015; Franco *et al.*, 2020; Matos, 2016; Santos, 2022; Sousa, 2017).

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS DA REGIÃO

De acordo com o mapa de solos obtido para a Região Serrana do RJ (Figura 2), observa-se que os solos existentes nessa região são das subordens: Argissolo Amarelo; Argissolo Vermelho; Argissolo Vermelho-Amarelo; Cambissolo Háplico; Gleissolo Háplico; Latossolo Vermelho; Latossolo Vermelho-Amarelo; Neossolo Flúvico, e Neossolo Litólico. Existe presença também de afloramento de rochas.

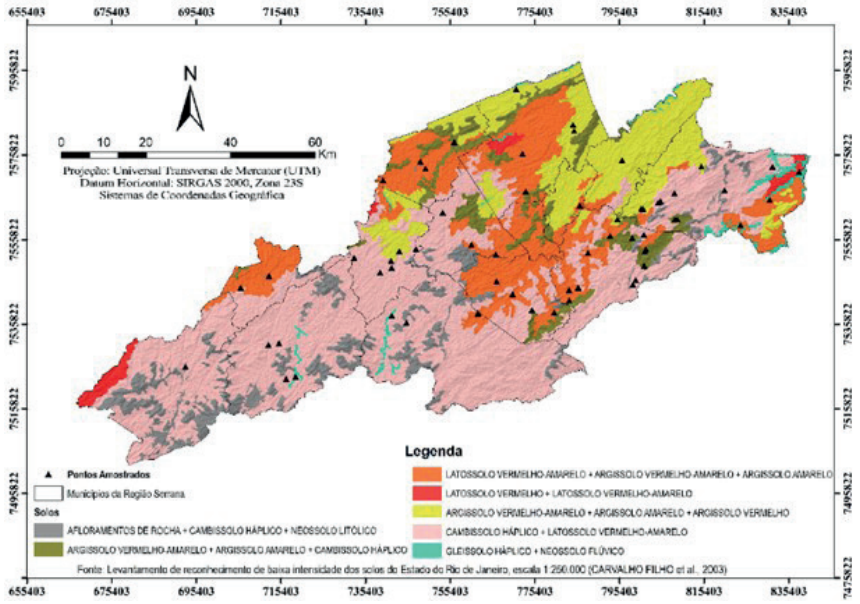


Figura 2. Mapa de solos da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro (Adaptado de Carvalho Filho *et al.*, 2003).

Normalmente, os Argissolos da área de estudo são solos profundos a muito profundos, (1,50 m a 2,5 m), e quanto à drenagem são bem a moderadamente drenados. Quanto à fertilidade natural desses solos é variável, geralmente, apresentam baixa fertilidade e forte acidez, e também possuem uma alta suscetibilidade à erosão.

É possível observar na Figura 2, a presença na área das subordens dos Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos. Sendo que os Argissolos Vermelhos estão localizados predominantemente na paisagem em relevo forte-ondulado, enquanto os Argissolos Vermelho-Amarelos em relevo ondulado e forte-ondulado e os Argissolo Amarelo em relevo suave-ondulado e ondulado.

Os Latossolos da área de estudo são solos profundos a muito profundos (mais de 2 m de espessura dos horizontes A+B), homogêneos (geralmente os horizontes têm transição gradual) e altamente intemperizados. Quanto à drenagem são solos bem drenados. Apresentam pouco ou nenhum aumento do teor de argila em profundidade. A fertilidade natural é baixa com forte acidez. Observa-se na Figura 2, a ocorrência das subordens dos Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos, ambos os solos estão localizados em relevos ondulado a forte-ondulado, sendo alguns encontrados em áreas de relevo montanhoso.

Pode-se fazer pequenas inferências quanto ao material originário dos Latossolos e Argissolos da área em questão, tem-se que tanto para os Argissolos Vermelhos quanto para os Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos os prováveis materiais de origem são rochas de caráter básico ou intermediário, com predomínio de minerais primários ricos em Fe e Mg ou até mesmo serem formados de sedimentos originados a partir do intemperismo dessas rochas. Já os Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Amarelos têm como prováveis materiais de origem rochas de caráter ácido (granito e gnaisses), ou sedimentos originados dessas rochas.

Os Cambissolos encontrados na área são solos pouco profundos e apresentam drenagem que varia de boa a imperfeita. Quanto à fertilidade natural desses solos, essa é variável, assim como sua aptidão agrícola. Sendo que na área de estudo, há ocorrência apenas da subordem dos Cambissolos Háplicos, cuja ocorrência se dá em diversas condições de relevo.

Os Cambissolos apresentam um baixo grau de pedogênese, sendo possível ainda observar no perfil do solo a presença de micas e feldspatos (minerais primários facilmente intemperizáveis) na fração areia, fato esse que caracteriza uma pequena transformação do material de origem do solo e um baixo grau de intemperismo sobre esse material (Anjos; Pereira, 2013).

Geralmente, os Cambissolos Háplicos na área estão associados aos Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos, mas também são observados Cambissolos Háplicos associados a afloramento de rochas e Neossolos Litólicos. Os Cambissolos Háplicos se diferenciam dos Argissolos pela ausência de gradiente textural, e dos Latossolos pela presença de minerais primários facilmente intemperizáveis (micas e feldspatos), presença de fragmentos da rocha matriz no horizonte B semi ou não intemperizada no perfil ou ainda mesmo pela relação SiO_2/Al_2O_3 (Ki > 2,2) (Anjos; Pereira, 2013; Santos *et al.*, 2018).

Os Gleissolos na área de estudo são solos jovens, pouco desenvolvidos e originados de sedimentos quaternários, são solos rasos, mal drenados ou muito mal drenados. Devido serem originados de sedimentos, apresentam uma variabilidade em suas características físicas, químicas e mineralógicas, resultando em fertilidade natural variável. Sendo que na área de estudo há ocorrência de apenas a subordem dos Gleissolos Háplicos, que geralmente estão associados aos Neossolos Flúvicos. Na área de estudo, são observados tanto Gleissolos em relevo plano nas baixadas, quanto Gleissolos em ambientes de alta altitude em condições de drenagem impedida.

Os Neossolos na área de estudo são solos pouco desenvolvidos, que não apresentam grandes alterações em relação ao material originário, devido à baixa intensidade dos processos pedogenéticos. Na área de estudo, tem-se distribuídos as subordens dos Neossolos Flúvicos e os Neossolos Litólicos, onde, geralmente, os Neossolos Flúvicos estão associados aos Gleissolos Háplicos e os Neossolos Litólicos estão associados aos afloramentos de rochas e aos Cambissolos Háplicos. Os Neossolos Litólicos estão localizados, predominantemente, na paisagem em relevo forte-ondulado, montanhoso e escarpado, enquanto os Neossolos Flúvicos em relevo plano, suave-ondulado e ondulado.

Em síntese, os solos da área de estudo são solos de carga variável dependentes do pH. Em sua maioria, são solos bastante ácidos e intemperizados, na fração argila são ricos em óxidos (óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos) de ferro (hematita e goethita) e de alumínio (gibsita), e nas argilas de baixa atividade do tipo 1:1, com predomínio de caulinita e pobres em matéria orgânica. Por se tratar de solos intemperizados, qualquer alteração de pH causa a alteração de carga na superfície dos coloides.

Em relação à litologia da região, verifica-se o predomínio de seis classes distintas (padrão simplificado), que contemplam os Granitoides, Rochas Charnockíticas, Rochas Gnáissicas, Rochas Graníticas, Rochas Granodioríticas e Tonalíticas e Sedimentos Quaternários (Figura 3).

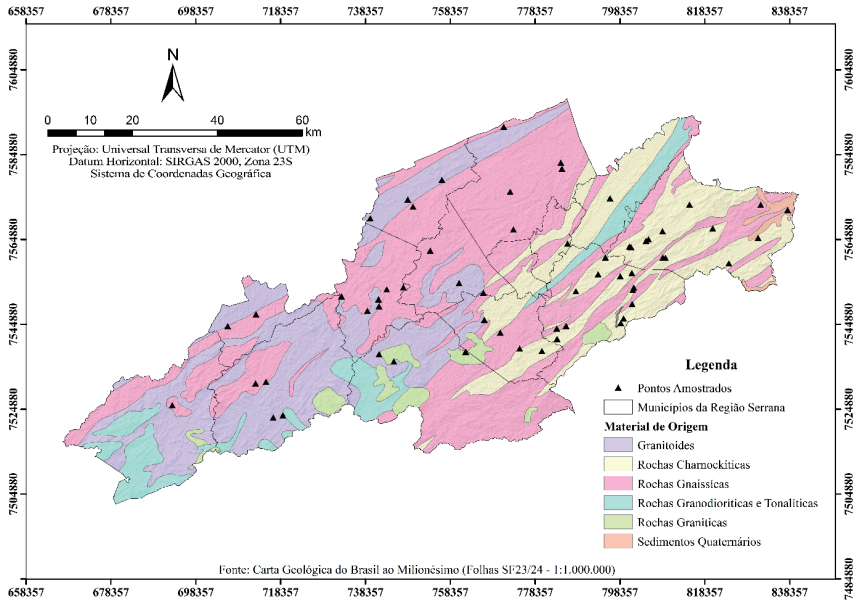


Figura 3. Mapa de material de origem da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. (Adaptado de Leite *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2004).

A mineralogia contida nos granitoides apresenta domínios de hornblenda e biotita com intercalações de rocha calcissilicática e quartzitos. Enquanto a mineralogia principal das rochas charnockíticas é constituída por quartzo, feldspato esverdeado, K-feldspato, piroxênio, granada, pouca biotita, mineral opaco, zircão e apatita. Enclaves de biotita-granada gnaisse, anfibolito e rocha calcissilicática são comuns.

Entretanto, as rochas gnáissicas apresentam em sua mineralogia principalmente, biotita gnaisse com intercalações de granada, muscovita, hornblenda, plagioclásio, biotita xisto, rochas calcissilicáticas, ricas em restos de paragnaisse. Por sua vez, as rochas graníticas, apresentam composição mineralógica representada, essencialmente, por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, aos quais, frequentemente, associam-se em quantidades bem menores a minerais máficos, como a biotita, ou félsicos, como a muscovita. Além de minerais acessórios, como titanita, apatita, zircão, allanita e minerais opacos.

Em relação ao material de origem, observa-se que há um predomínio de rochas gnáissicas (44,4%), granitoides (24,6%) e rochas charnockíticas (19,6%) na região, perfazendo 88,6% da área de estudo (Figura 3), que apresentam em sua mineralogia principal, minerais ferromagnesianos, como biotita, hornblenda e piroxênio, que podem estar associados à origem dos metais pesados nesses solos. Corroborando

com Tupinambá (1999), que ao estudar a litologia da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, encontrou que a área é composta em sua maioria por maciços graníticos e gnáissicos.

Contudo, é possível destacar que esses materiais de origem citados, anteriormente, são materiais em sua maioria ácidos, que consequentemente irão dar origem a solos ácidos, apresentando uma mineralogia diversa que irão contribuir como percursores de óxidos de Fe, Al e Mn, e muito, provavelmente, como fontes de bases nesses solos (Ca, Mg, K, principalmente).

TEORES NATURAIS DE METAIS PESADOS EM SOLOS: PROPOSIÇÃO DE VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE

A determinação de níveis naturais de elementos, potencialmente tóxicos e tóxicos no solo, bem como a proposição de Valores de Referência de Qualidade (VRQ), são essenciais para a construção de uma legislação, que represente a realidade de cada local, e sirva como base para o monitoramento e remediação de áreas contaminadas (Mattos *et al.*, 2018).

O estado do Rio de Janeiro ainda não possui os VRQ para solos, sendo utilizados os valores determinados para outros estados brasileiros. Todavia, o uso de VRQ de outra localidade pode conduzir a erros nas avaliações, diante da heterogeneidade das condições geomorfoclimáticas de cada região. Diante disso, Lima e colaboradores (2018), propuseram os VRQ específicos para a Região Serrana do Rio de Janeiro, visto a sua grande importância agrícola e econômica no estado.

Ressalta-se que, para o estabelecimento dos VRQ de substâncias inorgânicas, a legislação brasileira preconiza o uso do percentil 75 ou 90 do universo amostral, sendo, previamente, retirados os valores anômalos (outliers) (CONAMA, 2009). No entanto, a determinação de VRQ a partir de critérios estatísticos simples, seja com base na média ou em percentis da distribuição de frequência de todo conjunto amostral, apresenta limitações. As principais limitações estão relacionadas à variabilidade dos atributos físicos e químicos dos solos, que são determinantes na distribuição dos metais pesados. Assim, o estabelecimento de faixas de concentração de referência, para grupos de solos mais homogêneos, quanto às suas propriedades pedogeoclimáticas e pedogeomorfológicas, como estratégia para minimizar tal problema, seria uma alternativa mais pertinente (Lima *et al.*, 2018; Mattos *et al.,* 2018).

Na determinação dos VRQ para solos da Região Serrana, Lima *et al.* (2018), selecionaram 62 pontos de amostragem, a partir da análise de sobreposição dos mapas de solos, geologia, uso e cobertura do solo do estado do Rio de Janeiro. As amostras foram coletadas em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) e analisadas quanto às características químicas e granulométricas, de acordo com o *Manual de*

Métodos de Análises de Solos da Embrapa (Donagemma *et al.*, 2011), e quanto aos teores naturais pseudototais de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, utilizando o método SW-846 3051A (USEPA, 2007) e aparelho de Espectrometria de Emissão óptica com plasma induzido (ICP-OES).

Para a análise dos dados e determinação dos VRQ, os autores fizeram uso de métodos estatísticos multivariados, análise de agrupamento e análise discrimante, visando a obtenção de grupos de solos homogêneos, que melhor discriminassem a variabilidade pedogeomorfológica verificada na região, que consequentemente influenciam nos teores naturais dos metais pesados encontrados.

Dessa forma, a partir da análise de agrupamento, que foi realizada utilizando como variáveis os teores pseudototais de Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn, a distância euclidiana como medida de dissimilaridade, e o método de ward para agrupar as observações, foi possível a obtenção de três grupos (Figura 4).

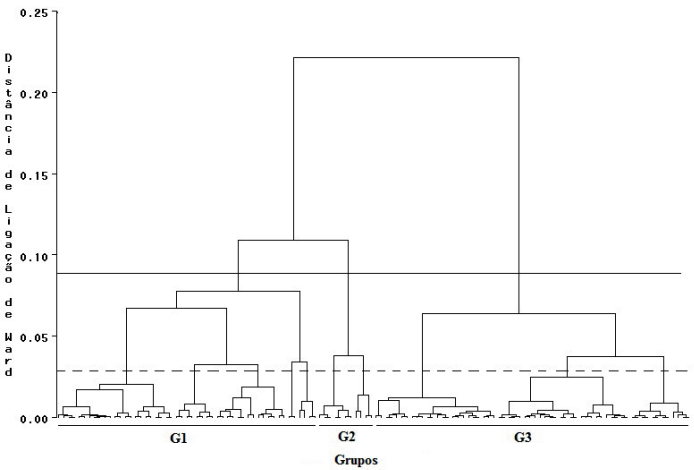


Figura 4. Dendograma formado pela análise de agrupamento com o método de ward e distância euclidiana em função dos teores de Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn. Fonte: Lima *et al.* (2018).

Além da formação dos grupos, para selecionar variáveis do solo que classifiquem os grupos formados e proporcione uma melhor aferição da função discriminante, os autores por meio da análise discriminante e de diversos procedimentos estatísticos, elabaroram as funções de classificação (Tabela 1). Segundo Fadigas *et al.* (2006), as funções discriminantes possibilitam a avaliação do grau de acerto na distribuição das amostras entre os grupos formados e também permitem a classificação de novas amostras dentro desses grupos estabelecidos.

Tabela 1. Funções discriminantes de classificação para alocação de novas amostras nos grupos previamente formados

Grupo	Função Discriminante
1	-149,04014 + 53,00289*pH - 18,24880*Mg + 0,00099*Fe - 0,01518*Mn
2	-122,88525 + 49,42420*pH - 19,29724*Mg + 0,00072*Fe - 0,01407*Mn
3	-146,53477 + 54,25185*pH - 20,44122*Mg + 0,00080*Fe - 0,02014*Mn

Fonte: Lima *et al*. (2018).

Na Tabela 2 estão apresentados os teores naturais dos elementos Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, estabelecidos para os solos da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, representado pelo percentil 75 (P75) dos três grupos formados. No presente estudo, Lima e colaboradores (2018) ressaltam que foi considerado o percentil 75 (P75) dos grupos no estabelecimento dos VRQ, pois a eliminação de 25% dos maiores dados de cada grupo se torna mais apropriada, pois assegura uma melhor e mais restritiva avaliação ambiental, garantindo maior segurança à saúde humana. Além disso, ao se trabalhar com grupos de solos, a variabilidade dos solos estaria sendo considerada, trazendo maior precisão para as futuras avaliações ambientais.

Tabela 2. Valores de Referência de Qualidade, obtidos a partir do P75, para os elementos Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn em três grupos de solos da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, em mg kg^{-1}

Metais	G1	G2	G3
Al	58312	44679	61461
Cd	0,04	0,27	0,04
Co	17	11	4
Cr	59	40	26
Cu	32	27	9
Fe	43239	26027	33787
Mn	736	526	256
Ni	30	22	8
Pb	29	31	27
Zn	63	64	32

Fonte: Adaptado de Lima ***et al.*** (2018).

G1: Grupo 1; G2: Grupo 2; e G3: Grupo 3.

Contudo, verifica-se a importância de se conhecer os Valores de Referência de Qualidade por grupos de solos da Região Serrana, visto que os valores foram bastante distintos daqueles relatados na literatura para diferentes classes de solos e locais. Os autores ainda concluem, que os solos da Região Serrana do Rio de Janeiro apresentaram ampla variação nos teores de metais pesados, que é em grande parte influenciada pelo material de origem, pelos fatores de formação e características físicas e químicas dos solos. Evidenciou-se também, que as técnicas de análise multivariadas empregadas são um instrumento adequado e promissor para a obtenção dos Valores de Referência de Qualidade, e que a separação das amostras em três grupos expressou melhor a variabilidade do conjunto de amostras, e a adoção do P75 nos grupos foi mais pertinente para as condições do estudo. Além disso, verificou-se que as variáveis do solo pH, Mg^{2+}, e os teores pseudototais de Fe e Mn são as que mais influenciam nos teores dos metais pesados nos solos da Região Serrana do Rio de Janeiro, sendo utilizadas nas funções de classificação dos grupos.

PRINCIPAIS FONTES ANTROPOGÊNICAS DE METAIS NOS SOLOS

Devido ao cultivo intensivo e a falta de assistência técnica, os produtores na Região Serrana do Rio de Janeiro usam de forma exagerada uma série de agroquímicos destinados ao controle de doenças e para suprir a demanda nutricional das plantas. A aplicação de vários insumos agrícolas para o suprimento de nutrientes (fertilizantes minerais e orgânicos), correção do alumínio (calcário) e controle de pragas (inseticidas) e doenças (fungicidas, bactericidas e outros) tornou-se uma prática rotineira. Tudo isso é agravado quando os fertilizantes utilizados no meio agrícola contêm grande concentração de impurezas, como metais pesados, ocasionados pela insuficiente purificação no processo de manufatura (Amaral Sobrinho *et al.*, 1992; Amaral Sobrinho *et al.*, 1997; Gonçalves *et al.*, 2022). O uso indiscriminado desses produtos, associado a longos períodos de cultivo e às práticas de manejo adotadas, favorecem a contaminação do ambiente, principalmente por metais pesados, sejam, esses oriundos de fontes naturais ou antropogênicas.

Os fertilizantes, corretivos de acidez e adubos orgânicos utilizados na agricultura são importantes entradas de metais nos agroecossistemas podendo vir a comprometer o desenvolvimento das plantas, quando em altas concentrações, como também contaminar os alimentos produzidos resultando em riscos à saúde humana (He; Yang; Stoffella, 2005; Khan *et al.*, 2008; Pachura; Ociepa-Kubicka; Skowron-Grabowska, 2016). Na produção desses insumos é comum o uso de resíduos agropecuários ou industriais. Dentre esses resíduos está a escória de siderurgia que tem sido recomendada e utilizada como corretivo de acidez do solo. Em sua constituição constam metais, como ferro e manganês e outros em menores concentrações (Ning *et al.*, 2016; Nobile, 2009). Apesar disso, ainda são escassos os trabalhos que

investigam a relação entre o seu uso e o acúmulo de metais em hortaliças. Por outro lado, por promover a elevação do pH do solo, pode contribuir para a redução da solubilidade de alguns metais (Kabata-Pendias; Adriano, 1995; Nobile, 2009; Santos et al., 2021; Sposito, 2008).

A cama de aviário é outro resíduo utilizado na agricultura e que possui grandes quantidades de metais pesados, como Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni e Pb (Parente *et al.*, 2019; Ravindran *et al.*, 2017; Santos et al., 2021; Sousa, 2017; Souza *et al.*, 2019). Santos (2021), evidenciou na cama de aviário fresca e compostada, respectivamente, os seguintes teores de metais: Pb (18,1 mg kg^{-1} e 29,1 mg kg^{-1}), Cd (2,24 mg kg^{-1} e 2,31 mg kg^{-1}), Cu (175,2 mg kg^{-1} e 359,3 mg kg^{-1}), Fe (5.427,6 mg kg^{-1} e 5.301,4 mg kg^{-1}), Mn (203,7 mg kg^{-1} e 351,4 mg kg^{-1}) e Zn (157,3 mg kg^{-1} e 313,2 mg kg^{-1}). Como os metais pesados não são degradados durante a compostagem, esse processo acaba promovendo um enriquecimento desses elementos no composto devido à mineralização da matéria orgânica (Souza *et al.*, 2019). Entretanto, as alterações químicas e estruturais que ocorrem durante a compostagem podem influenciar na especiação dos metais pesados, imobilizando em frações mais recalcitrantes aqueles metais que estavam associados, inicialmente, a frações mais lábeis (He; Tian; Liang, 2009). Assim, essas alterações promovidas durante a compostagem apresentam o potencial de reduzir os riscos ambientais da cama de frango.

Ressalta-se que para brássicas, como a couve comum e couve-flor, são relatadas aplicações de doses de cama de aviário fresca que variam de 0,20 kg por planta no plantio (Grisel; Assis, 2015) a até 1,5 kg por planta em aplicações de cobertura (Bhering *et al.*, 2017), o que equivale a mais de 40 Mg ha^{-1} em cultivos mais adensados, como de 0,60 m (plantas) x 0,60 m (linhas). A utilização desse resíduo tem sido associada ao aumento da contaminação de solos e hortaliças produzidas na Região Serrana do Rio de Janeiro por metais pesados (Franco *et al.*, 2020; Matos, 2016; Parente *et al.*, 2019; Ribeiro, 2019; Santos, 2021; Sousa, 2017; Sousa *et al.*, 2020).

Adicionalmente, a utilização de agrotóxicos na produção agrícola é uma prática muito comum atualmente, mesmo com o avanço no melhoramento genético de plantas e o desenvolvimento de cultivares resistentes a algumas doenças. Os ingredientes ativos desses agrotóxicos são muitas vezes metais pesados, como: sais de Zn, Cu e Mn; arsenatos de Cu e de Pb e compostos metalo-orgânicos, acarretando o aumento das concentrações desses elementos no solo (Tiller, 1989). Gimeno-García *et al.* (1996), avaliando a concentração de Cd, Co, Ni, Pb, Zn, Fe e Mn em três agrotóxicos (Antracol, Saturn-G e Ordram) constataram a presença de Cd nas concentrações de 1,94, 1,48 e 1,38 (mg kg^{-1}) respectivamente. Dentre os metais avaliados, o Cu não foi detectado em Antracol e Ordram. Nesse mesmo estudo, também foram avaliados alguns fertilizantes, como: Sulfato de Cobre, Sulfato de Ferro, Superfosfato e Ureia. Os maiores valores foram encontrados no Sulfato de Ferro, apresentado 220,00

mg kg^{-1} de Mn além do Fe principal elemento desse fertilizante 210x103 mg kg^{-1}. No Sulfato de Cobre também foram detectados Zn, Pb, Cd, Ni e Co. O Superfosfato apresentou as maiores concentrações de Cd (2,22 mg kg^{-1}), acima das encontradas nos agrotóxicos (Sousa, 2017).

INFLUÊNCIA DAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS NO ENRIQUECIMENTO DE METAIS NO SOLO E NOS PRODUTOS HORTÍCOLAS PRODUZIDOS NA REGIÃO SERRANA

Considerando as práticas agrícolas intensivas adotadas pelos agricultores familiares na Região Serrana do Rio de Janeiro, o manejo inadequado do solo, a aplicação intensiva de adubação fosfatada e potássica, a adubação orgânica com cama de aviário, e o relevo são consideradas as variáveis que mais influenciam no enriquecimento de biodisponibilidade de metais pesados em solos cultivados com couve-comum (Franco *et al.*, 2020; Santos, 2022). Na mesma região e em áreas de produção de couve-comum e tomate, os principais fatores associados ao acúmulo de metais no solo foram, principalmente, a adubação orgânica com cama de aviário e a elevada influência do relevo e do material de origem (Matos, 2016; Santos, 2021; Sousa, 2017; Sousa *et al.*, 2020). Em áreas de produção de alface e salsa, os metais Pb, Cd, Cr e Ni apresentaram associação com o aporte antropogênico de metais, sendo Pb por meio de adubação orgânica, e Cd, Cr e Ni por meio dos adubos minerais (Ribeiro, 2019; Santos, 2022).

Com a finalidade de evidenciar os fatores de acúmulo de metais pesados em solos agrícolas na Região Serrana do Rio de Janeiro, Guimarães *et al.* (2024) analisaram 498 amostras de terra com cultivo intensivo de hortaliças (Tabela 3). A partir dos valores de coeficiente de variação (CV) obtidos por análise descritiva das concentrações de metais pesados nas amostras de terra analisadas, Guimarães *et al.* (2024) sugerem que os metais pesados, possivelmente, foram originados de fontes antropogênicas. De acordo com Chen *et al.* (2019) o CV para metais pesados reflete o grau de interferência das atividades humanas (antrópicas) no meio ambiente. Normalmente, os ambientes, fortemente, afetados por atividades antrópicas tendem a produzir um CV mais alto para a concentração desses elementos (Chen *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2019; Liang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2019). Guimarães *et al.* (2024) verificaram altos valores de CV nas amostras analisadas, variando de 43,49% a 121,57%.

Tabela 3. Resumo estatístico dos elementos químicos nos solos (n = 498) da bacia de Barracão dos Mendes (em mg dm^{-3}; exceto Ca, Mg, Al, H+Al, CTC e V% em $cmol_c\ dm^{-3}$; Corg em g kg^{-1})

	Fe	Mn	Al	Cr	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Co	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Corg	CTC	V%
Média	52308	370,6	65021	12,9	40,5	102,7	20,4	38,0	0,4	13,8	5,4	204,9	275,6	3,5	1,0	0,2	7,1	15,5	12,5	35
Mediana	54747	328,1	63811	10,1	37,9	97,3	16,3	33,8	0,2	10,8	5,4	156,0	228,2	3,1	0,9	0,1	6,4	14,9	11,8	37
Mínimo	1382	10,1	1218	0,0	0,8	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	4,1	11,1	3,9	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	3,9	0
Máximo	140173	1791,2	179663	70,2	141,5	320,4	82,3	98,3	1,7	44,1	6,9	1060,3	1362,0	10,9	4,2	2,1	27,7	80,6	36,0	96
Desvio Padrão	22749	254,7	38828	11,6	23,4	53,9	15,4	17,6	0,5	11,1	0,5	161,2	185,4	1,9	0,7	0,3	3,6	8,4	4,4	21
CV (%)	43,5	68,7	59,7	90,4	57,8	52,5	75,7	46,4	121,6	80,5	9,5	78,7	67,3	53,6	66,4	154,9	50,6	53,9	35,6	61
Assismetria	-0,1	1,5	0,2	1,4	1,0	0,8	1,0	0,6	1,1	0,7	0,1	1,7	2,0	1,2	0,9	2,5	1,4	2,1	1,5	0
Curtose	0,4	3,8	-0,5	2,5	1,9	1,1	0,8	-0,2	-0,1	-0,6	-0,4	3,4	6,2	1,8	1,1	6,9	4,1	11,4	4,6	-0,50
VRQ[a]	43239	736,0	58312	59,0	32,0	63,0	30,0	29,0	0,0	17,0										
VP[b]	-	-	-	75,0	60,0	300,0	30,0	72,0	1,3	25,0										
VI[b]	-	-	-	150,0	200,0	450,0	70,0	180,0	3,0	35,0										

[a] Valor de Referência de Qualidade (VRQ) por Lima *et al.*, 2018; [b] Valor de Prevenção (VP); e Valor de Intervenção Agrícola (VI) por CONAMA, 2009.

Guimarães *et al.* (2024) identificaram uma grande variação nas concentrações dos metais pesados em solos cultivados com hortaliças na região de estudo, onde se verificou que as concentrações médias de alguns metais foram superiores aos seus respectivos valores de referência (VRQ), com exceção do Mn, Ni, Co e Cr. Esses autores observaram que a concentração média de Cd foi cerca de 10 vezes superior ao VRQ para essa região. As concentrações médias de Cu, Zn e Pb excederam os valores referência em: 27%; 63%, e 31%, respectivamente, evidenciando que a área de estudo apresenta contaminação por Cd, Pb e Zn.

Guimarães *et al.* (2024) utilizaram o método Random Forest (RF) para predição da distribuição espacial dos teores de metais pesados nos solos da Região Serrana do Rio de Janeiro, conforme pode ser verificado na Figura 5. Os autores identificaram as seguintes variações: para Cd: entre 0,01 e 1,7 mg kg^{-1}; para Co: entre 0,1 e 44,1 mg kg^{-1}; para Cr: entre 0,2 e 70,2 mg kg^{-1}; para Cu: entre 0,8 e 141,5 mg kg^{-1}; para Mn: entre 10,1 e 1.791,2 mg kg^{-1}; para Ni: entre 0,1 e 82,3 mg kg^{-1}; para Pb: entre 0,01 e 98,3 mg kg^{-1}, e para Zn: entre 1,5 e 320,4 mg kg^{-1}.

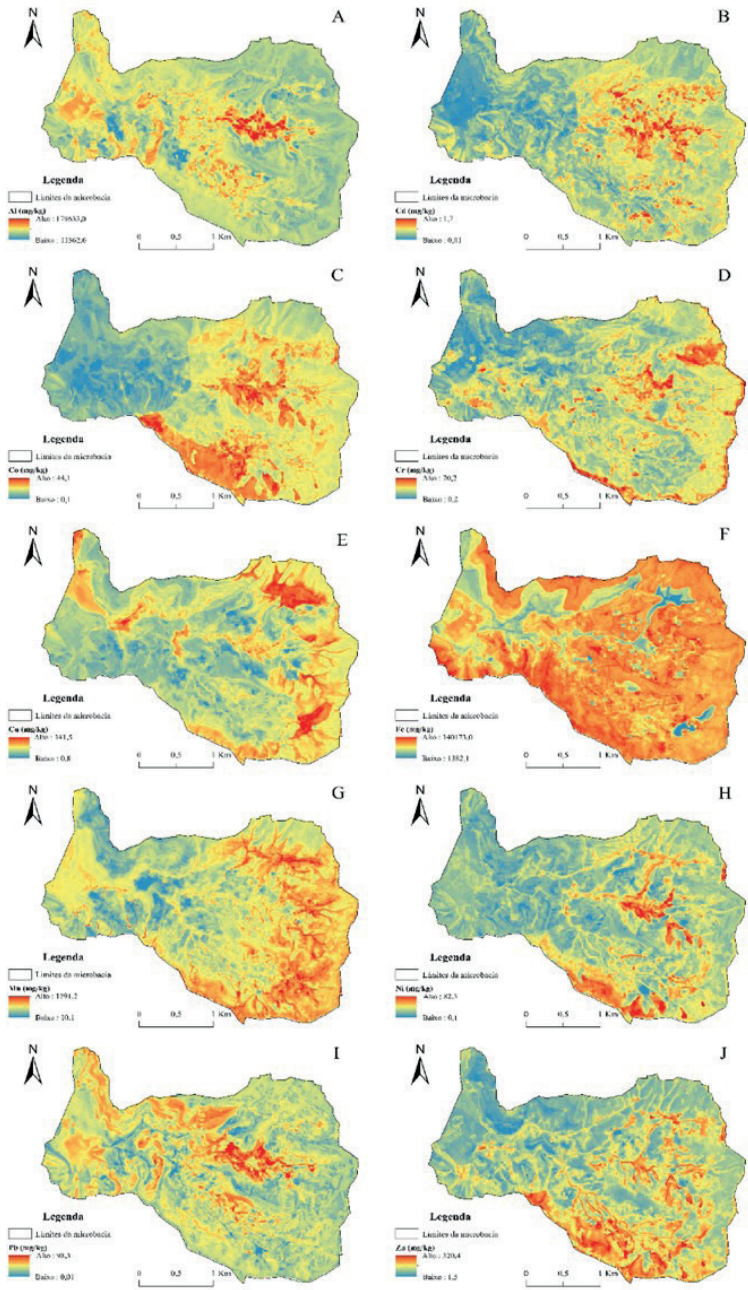


Figura 5. Mapa de distribuição espacial dos teores de metais pesados em áreas antrópicas na Microbacia de Barracão dos Mendes, Nova Friburgo, Brasil.

Lima *et al.* (2018) determinaram os teores naturais de metais pesados (valores de referência-VRQ) para os solos da Região Serrana do Rio de Janeiro. O percentual da área de estudo com valores de metais pesados superiores aos valores de VRQ para a Região Serrana, quantificado por Guimarães *et al.* (2024), é apresentado na Figura 6.

Observa-se que em 100% da área de estudo os valores de Cd foram superiores ao VRQ (> 0,04 mg kg^{-1}) estabelecido para Região Serrana (Lima *et al.* 2018); para Co, 25% (> 17 mg kg^{-1}); para Cu, 91% (> 32 mg kg^{-1}); para Pb, 98% (> 29 mg kg^{-1}); para Ni, 10% (> 30 mg kg^{-1}), e para Zn, 99% (> 63 mg kg^{-1}). Entretanto, para o Cr e Mn, 100% da área de estudo apresentou valores inferiores ao VRQ, de 59 mg kg^{-1}para Cr e 736 mg kg-1para Mn.

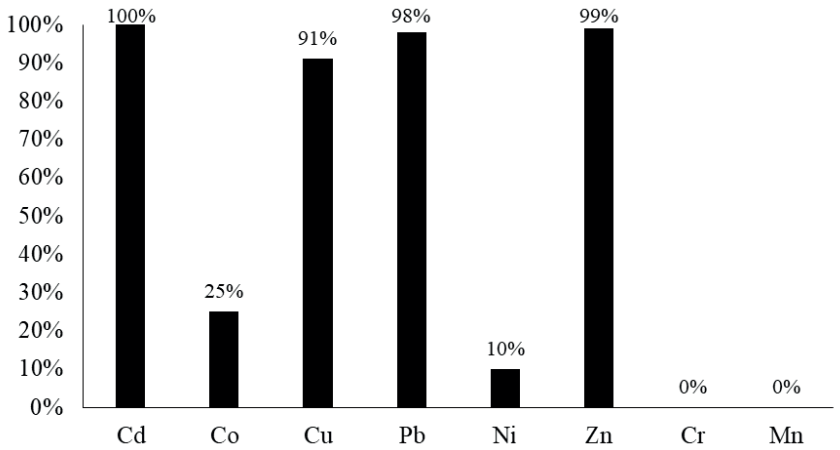


Figura 6. Percentual da área de estudo com valores de Cd, Co Cu, Pb, Ni, Zn, Cr e Mn superiores aos valores de referência determinados por Lima *et al.* (2018) para Região Serrana.

Segundo Brito *et al.* (2020), as relações inter elementares entre os metais fornecem informações sobre fontes potenciais de poluição. Xiao *et al.* (2019) salientam que, normalmente, isso ocorre, pois os metais pesados em solos agrícolas podem ter origem natural e/ou antrópica. A partir da correlação de Pearson entre os metais pesados, obtida por Guimarães *et al.* (2024) (Tabela 4), verificou-se uma estreita associação para Cr, Pb e Cd com Al e Fe e de Zn, Cu, Ni e Co com Mn, evidenciando que esses metais possuem uma mesma origem na área de estudo. Tem sido relatada a alta afinidade desses metais, através da adsorção específica na superfície de óxidos, oxi-hidróxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn (Alnaimy *et al.*, 2023; Ferreira *et al.*, 2018; Franco *et al.*, 2020; Frierdich; Hasenmueller; Catalano, 2011; Li *et al.*, 2022; Tao *et al.*, 2021; Zinn *et al.*, 2020). Estudo realizado por Luo *et al.* (2012) mostrou que correlações estreitas entre os metais sugerem uma mesma origem.

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson para metais pesados (n=498)

	Fe	Mn	Al	Cr	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Co
Fe	1									
Mn	0,14	1								
Al	**0,28****	**-0,19***	1							
Cr	**0,37****	**-0,14***	**0,38****	1						
Cu	**0,10***	**0,43****	**0,37***	**0,19***	1					
Zn	**0,14***	**0,52****	**0,25***	**0,22***	**0,62****	1				
Ni	0,19	**0,40****	**0,45***	**0,37***	**0,68****	**0,60****	1			
Pb	**0,33****	**-0,21***	**0,73****	**0,35***	**0,37***	**0,30***	**0,35***	1		
Cd	**0,22****	**-0,23***	**0,46****	**0,45***	**-0,13***	**-0,26***	**0,27***	**0,38****	1	
Co	0,15	**0,45****	**0,49***	0,27	**0,48***	**0,55***	**0,77****	**0,33***	**0,23***	1
Ca^{+2}	**-0,29***	**0,33****	**-0,39****	**-0,32****	**0,31***	**0,42****	**0,45****	**-0,28****	**-0,34****	**0,49****
Mg^{+2}	**-0,23****	**0,23***	**-0,21****	**-0,18***	**0,25****	**0,22****	**0,31***	**-0,30***	**-0,22****	**0,24***
H+Al	0,21	-0,11	**-0,34****	**-0,34****	**-0,26****	**-0,33****	**-0,26****	**-0,45****	-0,19	-0,10
Al^{+3}	**0,28****	0,04	**-0,41****	**0,27****	**-0,47****	**-0,41****	**-0,37****	**-0,43****	**0,28****	**-0,28****
CTC	**0,24***	-0,05	**-0,46****	-0,17	**-0,25****	**-0,37****	-0,18	**-0,49****	-0,21	**-0,46****
V%	0,11	0,14	**0,65****	-0,14	**0,57***	**0,45***	**0,39****	**0,60****	-0,12	**0,34****
pH	-0,20	-0,19	**0,41****	-0,13	0,17	0,13	0,14	**0,48****	0,14	**-0,34***
Corg	0,16	**0,19***	**-0,27***	-0,12	**0,23***	**0,30***	**0,27***	**-0,46****	-0,16	**-0,50****
P	**-0,17***	**0,23****	**-0,12***	0,18	**0,23****	**0,34****	**0,28***	**-0,13***	**-0,14***	**0,23***
K	**-0,16***	**0,25****	**-0,16***	0,12	**0,31****	**0,37****	**0,40***	**-0,13***	**-0,16***	**0,41***
Argila	0,18	**-0,46****	**-0,48****	**-0,15***	**-0,65****	**-0,45****	**-0,47****	**-0,38****	**-0,16***	**-0,50****
Areia	0,16	**0,37****	**0,68****	**-0,23****	**0,71****	**0,51****	**0,58****	**0,54****	**-0,29***	**0,52****
Silte	-0,25	-0,14	**-0,66***	0,19	**-0,56****	**-0,45****	**-0,53****	**-0,54****	**0,38****	**-0,41****
Elevação	**0,35****	**-0,29***	**0,23***	**0,39****	**-0,14***	**-0,23***	**-0,24***	**0,23***	**0,38****	**-0,45***
Declividade	**0,26****	**-0,18***	**0,31***	**0,23****	**-0,12***	**-0,18***	**-0,22***	**0,34***	**0,35****	-0,22*

* Correlação é significativa no nível 0,05; ** Correlação é significativa no nível 0,01.

De uma maneira geral, Guimarães *et al.* (2024) evidenciaram que os metais também apresentam correlações significativas com os atributos químicos e físicos do solo, possivelmente, devido à influência da atividade antrópica, i.e., essencialmente, agrícola. Foram observadas correlações significativas entre Ca^{+2} e Mg^{+2} com todos os metais e de P e K^{+} com quase todos os metais, com exceção de Cr. A correlação positiva do P e K com os metais Mn, Zn, Cu, Ni e Co indica a contribuição dos adubos orgânicos e minerais no enriquecimento do solo com esses metais.

Guimarães *et al.* (2024) produziram mapas de distribuição da fertilidade em área antrópica (Figura 6), onde foram evidenciados valores de pH variando entre 4,1 e 6,9 (média = 5,4); Ca entre 0,0 e 10,9 cmolc dm^{-3} (média = 3,5 cmolc dm^{-3}); Mg entre 0,0 e 4,2 cmolc dm^{-3} (média = 1,0 cmolc dm^{-3}); P entre 11,1 e 1.060,3 mg dm^{-3} (média = 204,9 mg dm^{-3}); e K entre 3,9 e 1.362,0 mg dm^{-3} (média = 275,6 mg dm^{-3}); Al entre 0 e 2,1 cmolc dm^{-3} (média = 0,2 cmolc dm^{-3}); H+Al entre 0,3 e 27,7 cmolc dm^{-3} (média = 7,1 cmolc dm^{-3}); Corg entre 0,0 e 80,6 g kg^{-1} (média = 15,5 g kg^{-1}); e CTC entre 3,9 e 36,0 cmolc dm^{-3} (média = 12,5 cmolc dm^{-3}).

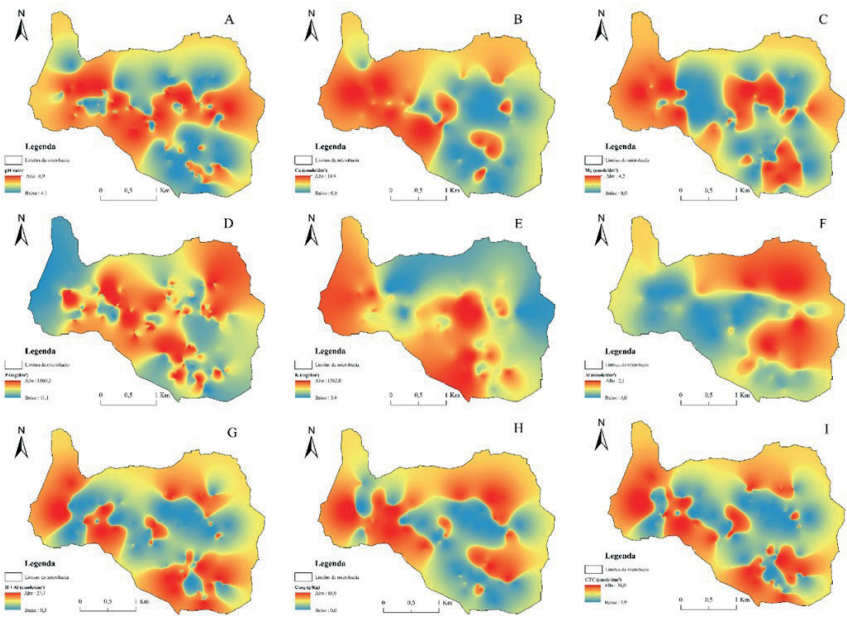


Figura 7. Mapas de distribuição espacial da fertilidade em áreas com atividade antrópica na Microbacia de Barracão dos Mendes, Nova Friburgo, Brasil.

Ao comparar os valores observados de fertilidade de áreas com cultivo intensivo de hortaliças com os valores de fertilidade em áreas naturais, Guimarães *et al.* (2024) evidenciam que o uso intensivo do solo com produção de hortaliças promove o enriquecimento do solo em P, K, Ca, Mg e Corg. Os autores demonstram que o uso massivo de agroquímicos (input) está contribuindo para o incremento da fertilidade do solo, principalmente de P e K na microbacia em estudo (Figura 8).

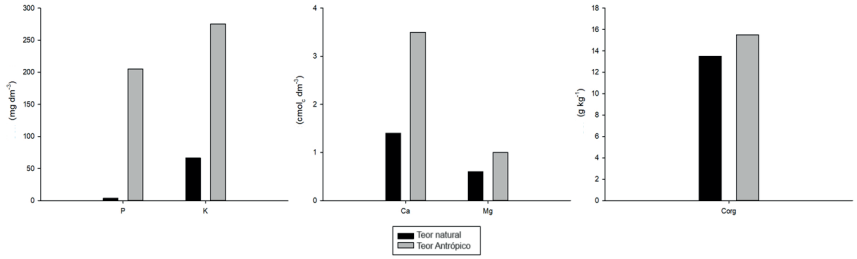


Figura 8. Histogramas com teores, antrópicos e naturais, de P, K, Ca, Mg e Corg.

Mediante utilização de uma análise de componentes principais (ACP), Guimarães *et al.* (2024), estabelecem dois grupos de metais bem definidos: um envolvendo Co, Cu, Mn, Ni e Zn e um outro Al, Cd, Cr, Fe e Pb. O primeiro grupo de metais está associado, principalmente, às práticas agrícolas utilizadas na produção de hortaliças (adubação mineral e orgânica) com uma relação estreita e positiva, principalmente, com os teores de P, K e o pH, enquanto o segundo grupo de metais (Al, Cd, Cr, Fe e Pb) está mais relacionado com o relevo local (declividade e elevação). A formação desses grupos na ACP demonstra, de forma inequívoca, que o uso massivo de agroquímicos (input) está contribuindo para o aumento dos teores dos metais Co, Cu, Mn, Ni e Zn na microbacia em estudo. A relação estreita e negativa desses metais com a declividade e elevação indica um transporte desses elementos para as partes mais baixas do relevo através da mobilização de partículas de argila, potencializado pelo preparo do solo a favor da pendente, típico da região.

Na área da microbacia de Barracão dos Mendes (Região Serrana do Rio de Janeiro), com intensa atividade antrópica, Guimarães *et al.* (2024) observaram uma estreita relação entre os metais Co, Cu, Ni, Zn e Mn. Entretanto, observaram uma relação inversa com a declividade e a elevação, e uma relação estreita e positiva com P e K^+, demonstrando a contribuição antropogênica dos fertilizantes minerais e orgânicos utilizados na área de estudo na acumulação desses metais. Guimarães *et al.* (2024) também ressaltaram a influência do relevo e do manejo inadequado do solo, com preparo a favor da pendente, favorecendo a erosão, determinando uma maior acumulação nas partes mais baixas e de menor declividade da área cultivada com hortaliças.

Ressalta-se que a agricultura desenvolvida na área de estudo está aumentando os teores de Pb e Cd nas partes mais elevadas da paisagem, assim como tem contribuído com o incremento dos teores de Zn, Cu, Ni, Co nas partes mais baixas e de menor declividade. Visto que se encontrou concentração média dos metais pesados (Cd, Pb, Cu e Zn) excedendo os valores de referência de qualidade para

os solos da Região Serrana do Rio de Janeiro, segundo Lima *et al.* (2018). Assim, ao se estudar a distribuição dos teores dos metais pesados na área de estudo (Figura 2), Guimarães *et al.* (2024) demonstraram através dos mapas de distribuição espacial, que as concentrações de Cd, Pb, Co, Cu, Ni e Zn são superiores aos valores de referência de qualidade para a Região Serrana (Figura 9). Dessa forma Guimarães *et al.* (2024) indicam que as fontes antropogênicas têm um efeito direto no aumento das concentrações desses metais nos solos na microbacia.

Na Tabela 5, são apresentados os aportes de metais pesados, via adubação orgânica e adubação mineral, obtidos em diferentes áreas produtoras de hortaliças (couve-flor, tomate, salsa, alface e couve mineira) na Região Serrana do Rio de Janeiro.

Sousa *et al.* (2020) ainda identificaram aporte de outras fontes, tais como herbicidas, inseticidas e fungicidas, e teores de micronutrientes: Mn, Zn, Cu, Ni, Co, e metais pesados:Pb, Cr e Cd, na ordem de 3.042,8 g ha^{-1} para Mn; 1.140,5 g ha^{-1} para Zn; 1.088,4 g ha^{-1} para Cu; g ha^{-1} para; 2,3 g ha^{-1} para Ni; 1,9 g ha^{-1} para Co; 0,1 g ha^{-1} para Pb; 0,1 g ha^{-1} para Cr; e 0,1 g ha^{-1} para Cd.

Verificou-se também nos trabalhos desenvolvidos por Gonçalves *et al.* (2022), Matos (2016), Ribeiro (2019) e Sousa *et al.* (2020) relações estreitas entre teores de metais pesados em solos cultivados com couve-flor (*Brassica oleracea* var. botrytis), tomate (*Solanum lycopersicum*), alface (*Lactuca sativa*), salsa (*Petroselinum crispum*) e couve manteiga (*Brassica olerácea* var. acephala) e dos insumos agrícolas, massivamente utilizados, principalmente os fertilizantes fosfatados e potássicos e a cama de ave.

Diversos estudos (Chen *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2018; Laidlaw *et al.*, 2017; Seralini; Jungers, 2020; Shamuyarira; Gumbo *et al.*, 2014; Shao *et al.*, 2018; Tarfeen *et al.*, 2022) apontam que a contaminação por metais pesados em solos agrícolas, tornou-se uma preocupação ambiental em todo o mundo, sendo que a aplicação contínua de adubos e outros agroquímicos resultam em maior acúmulo desses elementos tóxicos no solo ao longo do tempo.

Vários estudos desenvolvidos na região, demonstram que o aporte de metais através da adubação (orgânica e mineral) é superior às quantidades extraídas pelas hortaliças cultivadas na região, demonstrando um excedente de todos os metais em estudo, com exceção do Cr (Gonçalves *et al.*, 2022; Matos, 2016; Ribeiro, 2019; Sousa *et al.*, 2020). Dessa forma, esses resultados explicam a acumulação no solo desses elementos. Esses autores também verificaram que a adubação orgânica apresentou uma maior contribuição de metais pesados nos solos da área de estudo quando comparada à adubação mineral. De uma forma geral, uma menor contribuição para Cr (52%) e maior contribuição de Cu (99%) e Zn (98%). Trabalhos realizados por Hattab *et al.*, (2019) e Ning *et al.* (2017) apontam que a aplicação contínua de adubos orgânicos resulta em maior acúmulo desses elementos no solo ao longo do tempo.

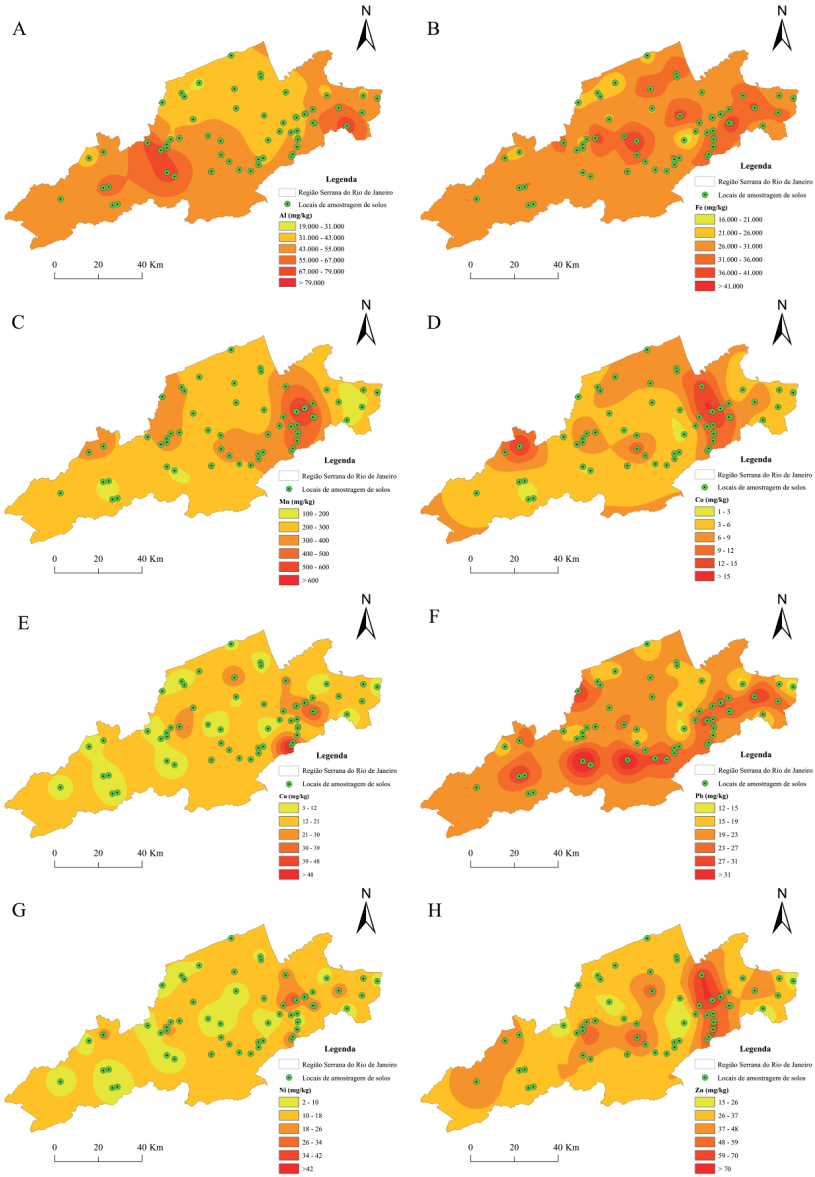


Figura 9. Mapas de distribuição espacial dos teores naturais de metais na Região Serrana do Rio de Janeiro, Brasil.

Tabela 5. Aporte de metais pesados (g ha^{-1}) via adubação orgânica (AO) e adubação mineral (AM) de diferentes áreas de produção de hortaliças na Região Serrana, RJ

Metal	Couve-flor[a]		Tomate[b]		Salsa[c]		Alface[c]		Couve manteiga[d]	
	AO	AM	AO	AM	AO	AM	AO	AM	AO	AM
Cd	10,9	3,4	4,2	0,5	9,2	1,5	9,2	2,0	32,3	2,0
Co	21,1	5,5	9,6	1,7	29,0	3,0	32,0	4,0	N.D	N.D
Cr	15,2	14,2	13,4	14,5	49,5	15,0	57,1	15,0	27,0	6,7
Cu	4463,1	472,9	1274,0	50,7	2925,3	262,1	2947,2	303,4	2452,5	26,9
Fe	N.D	N.D	7,7	5,7	N.D	N.D	N.D	N.D	75986,4	3544,5
Mn	N.D	N.D	1932,3	237,3	4730,6	1247,1	4868,4	1903,4	2852,1	202,1
Ni	26,1	13,2	15,6	5,7	49,6	10,2	51,4	9,7	38,9	7,9
Pb	24,1	11,6	18,1	8,0	43,4	28,9	45,7	35,6	253,7	22,8
Zn	8563,5	594,4	1707,4	396,9	4811,3	1352,3	5202,8	1885,2	2201,9	37,6

[a]. Matos (2016); [b]. Sousa *et al.* (2020); [c]. Ribeiro (2019); [d]. Gonçalves *et al.* (2019). N.D – não determinado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo intensivo de hortaliças, há mais de cinco décadas, em agroecossistemas de montanha no estado do Rio de Janeiro, propiciou alterações na variabilidade espacial da fertilidade do solo, que em condições naturais era influenciada pelo material de origem do solo e a cobertura do solo, e em situações de uso intensivo (antrópica) passou a ser influenciada pelos fatores relevo local e atividades agrícolas, promovendo enriquecimento nos teores, principalmente, de P e K e metais pesados. As principais fontes de variabilidade na distribuição dos teores dos metais pesados nos solos da área de são decorrentes do relevo associado ao material de origem, ao manejo inadequado do solo e à aplicação massiva de agroquímicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALNAIMY, M. A.; ELRYS, A. S.; ZELENAKOVA, M.; PIETRUCHA-URBANIK, K.; MERWAD, A. R. M. The vital roles of parent material in driving soil substrates and heavy metals availability in arid alkaline regions: A case study from Egypt. **Water**, v. 15, n. 13, p. 2481, 2023.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A. C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 271-276. 1992.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; OLIVEIRA, C. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 9-16. 1997.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Principais classes de solo do Estado do Rio de Janeiro. *In:* FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa, p. 37-68, 2013.

ARAÚJO, F. V.; VIEIRA, L.; JAYME, M. M. A.; NUNES, M. C.; CORTÊS, M. Avaliação da qualidade da água utilizada para irrigação na Bacia do Córrego Sujo, Teresópolis, RJ. **Cd. Saúde Colet. Rio de Janeiro**, v. 23, p. 380-385. 2015.

ASSIS, R. L.; AQUINO, A. M. The participatory construction of agro-ecological knowledge as a soil conservation strategy in the mountain region of Rio de Janeiro State (Brazil). **Open Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 17-24, 2018.

AYDIN, I.; FIRAT AYDIN, F.; SAYDUT, A.; GULHAN BAKIRDERE, E.; HAMAMCI, C. Hazardous metal geochemistry of sedimentary phosphate rock used for fertilizer (Mazıdag, SE Anatolia, Turkey). **Microchemical Journal**, London, v. 90, n. 2, p. 247-251, 2010.

BALDANTONI, D.; MORRA, L.; ZACCARDELLI, M.; ALFANI, A. Cadmium accumulation in leaves of leafy vegetables. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 123, p. 89-94, 2016.

BARBOSA, D. R.; GARCÍA, A. C.; SOUZA, C. D. C. B.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Influence of humic acid structure on the accumulation of oxyfluorfen in tropical soils of mountain agroecosystems. **Environmental Pollution**, v. 284, p. 117380, 2021.

BHERING, A. S.; CARMO, M. G. F.; MATOS, T. S.; LIMA, E. S. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. A. Soil factors related to the severity of Clubroot in Rio de Janeiro, Brazil. **Plant Disease**, v. 11, n. 8, p. 1345-1353, 2017.

BRITO, A. C. C.; BOECHAT, C. L.; DE SENA, A. F. S.; DE SOUSA LUZ DUARTE, L.; DO NASCIMENTO, C. W. A.; DA SILVA, Y. J. A. B.; ... SARAIVA, P. C. Assessing the distribution and concentration of heavy metals in soils of an agricultural frontier in the Brazilian Cerrado. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 231, p. 1-15, 2020.

CHEN, J. B.; GAILLARDET, J.; BOUCHEZ, J.; LOUVAT, P.; WANG, Y. N. **Anthropophile elements in river sediments**: Overview from the Seine River, France. Geoquímica, Geophys, Geossist, 2015.

CHEN, L.; WANG, G.; WU, S.; XIA, Z.; CUI, Z.; WANG, C.; ZHOU, S. Heavy Metals in Agricultural Soils of the Lihe River Watershed, East China: Spatial Distribution, Ecological Risk, and Pollution Source. **International Journal of Environmental Research and Publichealth**, v. 16, n. 12, p. 2094, 2019.

CHEN, L.; ZHOU, S.; SHI, Y.; WANG, C.; LI, B.; LI, Y.; WU, S. Heavy metals in food crops, soil, and water in the Lihe River Watershed of the Taihu Region and their potential health risks when ingested. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 141-149, 2018.

CHEN, T.; LIU, X. M.; LI, X.; ZHAO, K.; ZHANG, J. B.; XU, J. M.; SHI, J. C.; DAHLGREN, R. A. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a field-scale vegetable soil of Hangzhou, China. **Environmental Pollution**, v. 157, n. 3, p. 1003-1010, 2009.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 420, de 28 de dezembro de 2009**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, nº 249, de 30/12/2009, 81-84 p. Disponível em http://mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620. Acesso em: 3 jun. 2018.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011.

EMATER-RJ. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro. Secretaria de Agricultura e Pecuária do Estado do Rio de Janeiro. **ASPA – Acompanhamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2017. Disponível em: http://www.emater.rj.gov.br/tecnica.asp

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. C.; FREIXO, A. A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 699-705, 2006.

FERREIRA, C. S.; LIMA, S. S.; SAMPAIO, I. U. M.; RAMOS, A. P.; COELHO, I. da S.; PEREIRA, M. G. **Agricultura em ambiente de montanha**. Economia Ecológica, território e desenvolvimento sustentável: perspectivas e desafios - Volume 3. Editora Científica Digital, v. 1, p. 162-179, 2023.

FERREIRA, E. P.; COELHO, R. M.; VALLADARES, G. S.; DIAS, L. M. S.; ASSIS, A. C. C.; SILVA, R. C.; AZEVEDO, A. C.; ABREU, C. A. Mineralogy and Concentration of Potentially Toxic Elements in Soils of the São Francisco Sedimentary Basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

FRANCO, T. F.; LIMA, E. S. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CARMO, M. G. F.; BREDA, F. A. F. Enrichment and bioavailability of toxic elements in intensive vegetable production areas. **Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 124-134, 2020.

FRIERDICH, A. J.; HASENMUELLER, E. A.; CATALANO, J. G. Composition and structure of nanocrystalline Fe and Mn oxide cave deposits: Implications for trace elemento mobility in karst systems. **Chemical Geology**, v. 284, p. 82-96, 2011.

GIMENO-GARCÍA, E.; ANDREU, V.; BOLUDA, R. Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. Environmental Pollution, v. 92(1), PP. 19-25, 1996.

GONÇALVES, R. G. M.; SANTOS, C. A.; BREDA, F. A. F.; LIMA, E. S. A.; CARMO, M. G. F.; SOUZA, C. C. B.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Cadmium and lead transfer factors to kale plants (Brassica oleracea var. acephala) grown in mountain agroecosystem and its risk to human health. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 5, p. 366, 2022.

GRISEL, P. N.; ASSIS, R. L. Adoção de práticas agrícolas sustentáveis: Estudo de caso de um sistema de produção hortícola familiar em ambiente de montanha. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 29, n. 1, p. 133-158, 2012.

GRISEL, P. N.; ASSIS, R. N. **Dinâmica agrária da Região Sudoeste do município de Nova Friburgo e os atuais desafios de sua produção hortícola familiar**. Documentos nº 299, Embrapa Agrobiologia, Seropédica, 2015.

GUIMARÃES, LEONARDO DURVAL DUARTE ; LIMA, ERICA SOUTO ABREU ; DE SOUZA, CAMILA DA COSTA BARROS ; PINHEIRO, HELENA SARAIVA KOENOW ; DO AMARAL SOBRINHO, NELSON MOURA BRASIL . Spatial distribution and factors influencing the accumulation of toxic metals in soils in mountain agroecosystems, Rio De Janeiro, Brazil. ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY AND HEALTH, v. 46, p. 1-17, 2024.

HATTAB, S.; BOUGATTASS, I.; HASSINE, R.; DRIDI-AL-MOHANDES, B. Metals and micronutrients in some edible crops and their cultivation soils in eastern-central region of Tunisia: A comparison between organic and conventional farming. **Food Chemistry**, v. 270, p. 293-298, 2019.

HE, M.; TIAN, G.; LIANG, X. Phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead during the aerobic composting of sewage sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v. 163, p. 671-677, 2009.

HE, Z. L.; YANG, X. E.; STOFFELLA, P. J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 19, p. 125-140, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário**. 2017. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6953#. Acesso em: 26 jun. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**, Rio de Janeiro, IBGE. 2006. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em: 05 jan. 2019.

KABATA-PENDIAS, A.; ADRIANO, D. C. Trace metals. *In:* RECHCIGL, J. E. **Soil Amendments and Environmental Quality**. Lewis Publishers, Boca Raton, p. 139-168, 1995.

KHAN, S.; CAO, Q.; ZHENG, Y. M.; HUANG, Y. Z.; ZHU, Y. G. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. **Environmental Pollution,** v. 152, n. 3, 686-692, 2008.

LAIDLAW, M. A. S.; FILIPPELLI, G. M.; BROWN, S.; PAZ-FERREIRO, J.; REICHMAN, S. M.; NETHERWAY, P.; TRUSKEWYCZ, A.; BALL, A. S.; MIELKE, H. W. Case studies and evidence-based approaches to addressing urban soil lead contamination. **Applied Geochemistry**, v. 83, p. 14-30, 2017.

LEITE, C. A. S.; PERROTTA, M. M.; SILVA, L. C.; SILVA, M. A.; HEINECK, C. A.; SALVADOR, E. D.; VIEIRA, V. S.; LOPES, R. C.; SILVA, M. G. M.; DRUMOND, J. B. V.; MALOUF, R. F.; LACERDA FILHO, J. V.; VALENTE, C. R.; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B.; OLIVEIRA, I. W. B.; RAMGRAB, G. E.; NETTO, C.; JUNQUEIRA, P. A.; PAES, V. J. C. Folha SF.23-Rio de Janeiro. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**. Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, 2004.

LI, X.; LIU, H.; MENG, W.; LIU, N.; WU, P. Accumulation and source apportionment of heavy metal (loid) s in agricultural soils based on GIS, SOM and PMF: A case study in superposition areas of geochemical anomalies and zinc smelting, Southwest China. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 159, p. 964-977, 2022.

LIANG, Y.; JIANG, X.; LI, G.; REN, H.; YANG, F.; CAO, Q. Content analysis and risk evaluation of heavy metal elements in soil and ginseng root from nonforested land base with cultivated ginseng in Jilin Province. **Journal of Plant Resources and Environment**, v. 24, n. 3, p. 68-76, 2015.

LIMA, E. S. A.; MATOS, T. S.; PINHEIRO, H. S. K.; GUIMARÃES, L. D. D.; PÉREZ, D. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Soil heavy metal content on the hillslope region of Rio de Janeiro, Brazil: reference values. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, p. 364, 2018.

LÓPEZ NETTO, A.; ASSIS, R. L. de; AQUINO, A. M. de; GUEDES, C. A. M. As políticas internacionais para os ambientes de montanha e o contexto brasileiro. *In:* AQUINO, A. M.; LÓPEZ NETTO, A.; ASSIS, R. L. **Desenvolvimento sustentável em ambientes de montanha: estratégias e experiências**. 2. ed. Seropédica: Embrapa Agrobiologia; Niterói: Programa Rio Rural, 2022. 184 p.

LUO, X. S.; YU, S.; ZHU, Y. G.; LI, X. D. Trace metal contamination in urban soils of China. **Science of the Total Environment**, v. 421, p. 17-30. 2012.

MATOS, T. S. **Fatores de Transferência de Elementos-Traço do Solo para Plantas de Couve-flor (*Brassica oleracea* var. botrytis) cultivadas no Município de Nova Friburgo- RJ.** 136f. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, 2016.

MATTOS, A. G. *et al.* Multivariate analyses to establish reference values for soils in Médio Paraíba, state of Rio de Janeiro, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 1, p. 1-10, 2018. DOI: https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180001

NING, C. C.; GAO, P. D.; WANG, B. Q.; LIN, W. P.; JIANG, N. H.; CAI, K. Z. Impacts of chemical fertilizer reduction and organic amendments supplementation on soil nutrient, enzyme activity and heavy metal content. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 8, p. 1819-1831, 2017.

NING, D.; LIANG, Y.; LIU, Z.; XIAO, J.; DUAN, A. Impacts of steel-slag-based silicate fertilizer on soil acidity and silicon availability and metals-immobilization in a paddy soil. **PLoS One**, v. 11, n. 12, 2016.

NOBILE, F. O. Uso Agronômico da Escória de Siderurgia. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 2, p. 108-128, 2009.

PACHURA, P.; OCIEPA-KUBICKA, A.; SKOWRON-GRABOWSKA, B. Assessment of the availability of heavy metals to plants based on the translocation index and the bioaccumulation factor. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 3, p. 1469-1477, 2016.

PARENTE, C. E. T. *et al.* Multi-temporal accumulation and risk assessment of available heavy metals in poultry litter fertilized soils from Rio de Janeiro upland region. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 1, p. 28, 2019.

RAVINDRAN, B.; MUPAMBWA, H. A.; SILWANA, S.; MNKENI, P. N. Assessment of nutrient quality, heavy metals and phytotoxic properties of chicken manure on selected commercial vegetable crops. **Heliyon**, v. 3, n. 12, e00493, 2017.

RIBEIRO, J. C. **Metais pesados no solo e em hortaliças de folhas cultivadas no município de Nova Friburgo-RJ**. 123f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2019.

SANTOS, C. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; GONÇALVES, R. G. M.; COSTA, T. G. A.; CARMO, M. G. F. Toxic metals in broccoli by combined use of acidity correctives and poultry litter under mountain tropical conditions. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 80, p. 507-518. 2021.

SANTOS, C. A; AMARAL SOBRINHO, N. M. B; LIMA, E. S. A; CARMO, M. G. F. Severity of clubroot in kale related to management practices and soil attributes. Ciência Rural, v. 52, p. e20210214, 2022.

SANTOS, C. A,; AMARAL SOBRINHO, N. M. B,; LIMA, E. S. A,; CARMO, M. G. F. Severity of clubroot in kale related to management practices and soil attributes. **Ciência Rural**, v. 52, p. e20210214, 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO. M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SERALINI, G. E.; JUNGERS, G. Toxic compounds in herbicides without glyphosate. **Food and Chemical Toxicology**, v. 146, p. 111770, 2020.

SHAMUYARIRA, K. K.; GUMBO, J. R. Assessment of heavy metals in municipal sewage sludge: a case study of Limpopo Province, South Africa. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 3, p. 2569-2579, 2014.

SHAO, S.; HU, B.; FU, Z.; WANG, J.; LOU, G.; ZHOU, Y.; JIN, B.; LI, Y.; SHI, Z. Source Identification and Apportionment of Trace Elements in Soils in the Yangtze River Delta, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 6, p. 1240, 2018.

SILVA, M. A.; CAMOZZATO, E.; PAES, V. J. C.; JUNQUEIRA, P. A.; RAMGRAB, G. E. Folha SF.24-Vitoria. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**. Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília, 2004.

SOUSA, F. F. **Fatores de transferência de metais pesados do solo para plantas de tomate cultivadas na Região de Nova Friburgo, RJ**. 119f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2017.

SOUZA, C. C. B.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; LIMA, E. S. A.; LIMA, J. O.; CARMO, M. G. F.; GARCÍA, A. C. Relation between changes in organic matter structure of poultry litter and heavy metals solubility during composting. **Journal of Environmental Management**, v. 247, p. 291-298, 2019.

SOUSA, F. F. de; CARMO, M. G. F. do; LIMA, E. S. A.; SOUZA, C. da C. B. de; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do. Lead and cadmium transfer factors and the contamination of tomato fruits (Solanum lycopersicum) in a tropical mountain agroecosystem. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 105, n. 2, p. 325-331, 2020.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**, Second edition. New York. Oxford University Press, 329 p. 2008.

TAO, C.; SONG, Y.; CHEN, Z.; ZHAO, W.; JI, J.; SHEN, N.; AYOKO, G. A.;FROST, R. L. Geological load and health risk of heavy metals uptake by tea from soil: What are the significant influencing factors? **Catena**, v. 204, p. 105419, 2021.

TARFEEN, N.; NISA, K. U.; HAMID, B.; BASHIR, Z.; YATOO, A. M.; DAR, M. A.; MOHIDDIN, F. A.; AMIN, Z.; AHMAD, R. A.; SAYYED, R. Z. Microbial remediation: A promising tool for reclamation of contaminated sites with special emphasis on heavy metal and pesticide pollution: A review. **Processes**, v. 10, n. 7, p. 1358, 2022.

TILLER, K. G. Heavy metals in soils and their environmental significance. *In:* **Advances in Soil Science**. Springer, New York, NY, 1989. p. 113-142.

TUPINAMBÁ, M. A. **Evolução tectônica e magmática da Faixa Ribeira na região serrana do Estado do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotecnologia – Universidade de São Paulo, 221 p. 1999.

USEPA. United State Environmental Protection Agency: **Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils**. 1996 Disponível em: http://www.epa.gov/waste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf. Acesso em: 01 jun. 2017.

WANG, S.; CAI, L.; WEN, H.; LUO, J.; WANG, Q.; LIU, X. Spatial distribution and source apportionment of heavy metals in soil from a typical county-level city of Guangdong Province, China. **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 92-101, 2019.

WYMANN VON DACH, S.; ROMEO, R.; VITA, A.; WURZINGER, M.; KOHLER, T. **Mountain Farming is Family Farming**: A contribution from mountain areas to the International Year of Family Farming 2014. Rome, Italy: FAO, CDE, BOKU, p. 100, 2013.

XIAO, R.; GUO, D.; ALI, A.; MI, S.; LIU, T.; REN, C.; LI, R.; ZHANG, Z. Accumulation, ecological-health risks assessment, and source apportionment of heavy metals in paddy soils: A case study in Hanzhong, Shaanxi, China. **Environmental Pollution**, v. 248, p. 349-357, 2019.

ZINN, Y. L.; FARIA, J. A. de; ARAUJO, M. A. de; SKORUPA, A. L. A. Soil parent material is the main control on heavy metal concentrations in tropical highlands of Brazil. **Catena**, v. 185, p. 104319, 2020.

CAPÍTULO 9

MACROFAUNA INVERTEBRADA DO SOLO COMO INDICADOR DE QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTES DE MONTANHAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Sandra Santana de Lima
Pós Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Adriana Maria de Aquino
In memorian
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, Núcleo de Pesquisa e Treinamento para Agricultores, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil

Cyndi dos Santos Ferreira
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Rafaela Martins da Silva
Doutoranda do Programa de Ciência Florestal
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, MG

Renato Linhares de Assis
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, Núcleo de Pesquisa e Treinamento para Agricultores, Nova Friburgo, Rio de Janeiro

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

INTRODUÇÃO

As mudanças ambientais globais, marcadas por crises recorrentes e interligadas, têm destacado a urgência de repensar a forma como os recursos naturais são utilizados e geridos, sobretudo propiciando discussões acerca dos desafios enfrentados e maneiras de promover soluções mais integradas para lidar com a insustentabilidade

estrutural na forma como esses recursos são atualmente explorados (UNEP, 2024). Nesse cenário, torna-se cada vez mais urgente a proposição e implementação de iniciativas conservacionistas que estejam associadas às práticas adequadas de manejo, uso e ocupação do solo, as quais são indispensáveis para a conservação da natureza e minimização das perdas de biodiversidade (IPCC, 2019). Diante disso, muitas pesquisas a respeito do impacto da agricultura sobre a qualidade do solo, têm sido realizadas em diferentes ambientes, porém ainda são incipientes pesquisas realizadas em ambientes de montanha.

O Brasil está entre os 16 países que apresentam a maior área de região montanhosa do planeta (Assis; Antônio; Aquino, 2019; López Netto, 2013). As montanhas apresentam características próprias, assim como as populações que lá vivem, contudo, a percepção de que os ambientes montanhosos demandam estratégias de desenvolvimento e políticas públicas diferenciadas é recente no Brasil (Assis *et al.*, 2018). De acordo com López *et al.* (2011) que abordam o tema "agricultura de montanha", afirma-se que o desenvolvimento rural sustentável nas regiões de montanha é vital para a manutenção da qualidade da vida da população tanto nessas áreas, como nas de entorno, incluindo as baixadas.

A fragilidade dos ambientes de montanha representa um enorme desafio ao desenvolvimento sustentável, devido aos impactos do desenvolvimento com baixo grau de sustentabilidade serem mais rápidos, mais intensos, e de mais difícil correção quando comparado a outros ambientes (Körner e Ohsawa, 2006). Nesse sentido, a localização, a distribuição demográfica, os aspectos ambientais, os solos desses ambientes quando altamente manejados e submetidos a diversos ciclos de produção agrícola, podem levar ao esgotamento nutricional e degradação ambiental (Pereira *et al.*, 2022). A Região Serrana do Rio de Janeiro (Figura 1) pode ser considerada como um ambiente com grande potencial agrícola, porém com muitos desafios para a manutenção da sustentabilidade ambiental em virtude das práticas de manejo adotadas.

Figura 1. Montanhas na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. Foto: Sandra Lima (acervo pessoal).

Nesses ambientes já houve redução de grande parte de sua biodiversidade, em virtude da conversão dos ecossistemas naturais para áreas de exploração agrícola, o que afeta significativamente os serviços ecossistêmicos, especialmente aqueles que dependem da qualidade do solo (Velasquez; Lavelle, 2019), dessa forma é fundamental o conhecimento sobre esses ambientes, os solos que ocorrem e sua capacidade de uso. No que se refere aos atributos que contribuem para a manutenção de sua qualidade, torna-se também necessária a avaliação de quais podem funcionar como indicadores de mudanças quando as áreas são submetidas aos diferentes sistemas de manejo, visto que os ambientes de montanha desempenham papéis fundamentais na regulação de serviços ecossistêmicos, que são revertidos em benefícios para a sociedade (Ferreira *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2022).

O solo é reconhecido como importante reservatório da biodiversidade, o qual exerce funções baseadas na manutenção da diversidade biológica; regulação do fluxo de água e solutos; degradação, imobilização e detoxificar compostos orgânicos e inorgânicos; atuar na ciclagem de nutrientes e manter um meio poroso, que contribua para as trocas gasosas, circulação da água e fixação do vegetal ao solo. Adicionalmente, quando o solo se encontra em um bom estado de conservação e apresenta certa qualidade, esses fatores podem contribuir para a sustentabilidade ambiental (FAO, 2020; Netto; Kato; Goedert, 2009; Stork, 2018). Contudo, ainda são incipientes estudos que proponham indicadores para o monitoramento da qualidade do solo nesses ambientes com destaque para a biota do solo.

FAUNA INVERTEBRADA DO SOLO

O solo abriga um quarto da biodiversidade do planeta e as comunidades de invertebrados do solo são altamente sensíveis às mudanças nos ecossistemas (Velasquez; Lavelle, 2019), diante disso, os organismos que compõem a fauna invertebrada do solo, são amplamente considerados importantes indicadores de qualidade do solo (Brown *et al.*, 2015; Lavelle *et al.*, 2006; Lavelle *et al.*, 2020; Lugo; Ibañez; Lavelle, 2024). De acordo com Aquino (2005), a fauna do solo compreende organismos invertebrados que vivem permanentemente ou que passam algumas fases de desenvolvimento no solo ou na serapilheira. Esses organismos são classificados como microfauna, mesofauna e macrofauna, de acordo com o tamanho (Swift; Heal; Anderson, 1979).

Os invertebrados que compõem a fauna do solo, estão diretamente relacionados a diversos processos no solo e desenvolvem atividades que podem afetar direta e indiretamente o funcionamento sustentável dos ecossistemas terrestres, prestando diversos serviços ambientais (Barrios *et al.* 2013; Brown *et al.*, 2015; Lavelle *et al.*, 2020), tanto para ecossistemas naturais como os manejados (Barrios *et al.*, 2013; Lima *et al.*, 2021).

A mudança do uso das terras tem efeito negativo na remoção ou simplificação da cobertura vegetal, associada às práticas agrícolas convencionais, que tem demonstrado desempenhar um papel fundamental na determinação dos padrões de distribuição da macrofauna edáfica e, consequentemente, afeta várias propriedades do solo, podendo ser citadas a agregação do solo e o armazenamento de carbono (C) (Lugo *et al.*, 2024; Morlue *et al.*, 2021). A fauna invertebrada interage intimamente com o ambiente, principalmente devido à proximidade física (Seeber *et al.*, 2022). No geral, esses organismos, executam importantes atividades no solo relacionados à transformação da matéria orgânica, a partir da fragmentação, contribuindo com os ciclos biogeoquímicos, disponibilidade de nutrientes e contribuição para a estrutura do solo (Lavelle; bignell; Lepage, 1997; Morlue *et al.*, 2021).

Esse grupo de invertebrados do solo se destaca por exercerem atividades diferenciadas no ecossistema, sendo ainda, classificados em grupos funcionais, que favorece a compreensão do papel desses organismos no ecossistema, bem como seu funcionamento (Brussaard, 2007; Souza *et al.*, 2022). De acordo com as funções, a comunidade da fauna do solo é classificada como: transformadores de serapilheira, micrófagos, detritívoros, predadores e engenheiros do ecossistema (Figura 2) (Brown *et al.*, 2015; Parron *et al.*, 2015).

Figura 2. Grupo de "Engenheiros do ecossistema" (cupim, formiga e minhoca). Fotos: Sandra Lima (acervo pessoal).

A interação entre a atividade biótica do solo, matéria orgânica do solo (MOS) decomposição e estabilização, e dinâmica de agregação do solo tem sido reconhecida e estudada desde 1900 (Six *et al.*, 2004). Alguns organismos componentes da macrofauna invertebrada do solo, (térmitas/cupins, formigas e minhocas) são denominados "engenheiros do ecossistema" (Figura 2) em função de suas atividades modificarem algumas das propriedades físicas dos solos onde vivem, especialmente a agregação do solo (Lavelle, 1997; Wolters, 2000; Zangerlé; Pando; Lavelle, 2011). Eles produzem bolotas fecais, movimentam resíduos, constroem estruturas, como montículos, galerias, ninhos, câmaras, influenciando alguns atributos físicos e a disponibilidade de recursos para os demais organismos do solo (Lavelle *et al.*, 2020; Wolters, 2000).

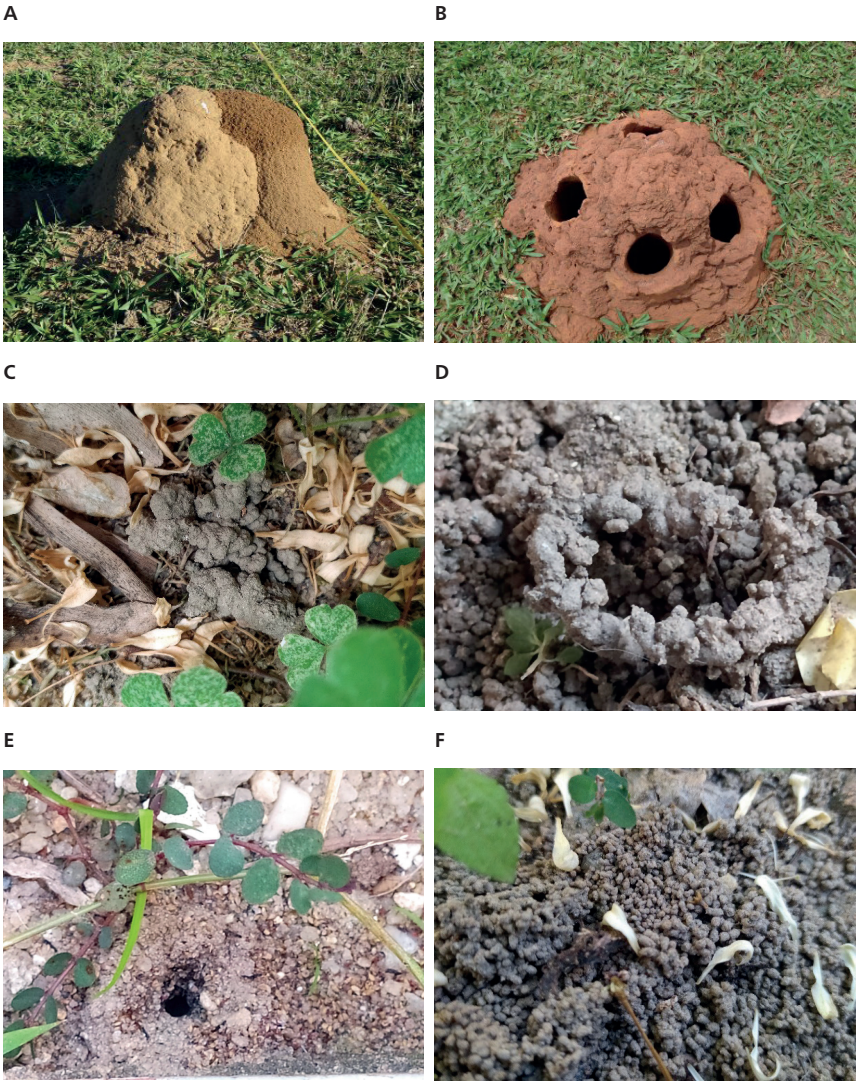


Figura 3. Estruturas dos engenheiros do ecossistema. Sendo as Figuras A e B estruturas produzidas por Cupins; B e C Figuras de coprólitos de minhocas; Figura E estrutura produzida por formigas; e Figura F pelotas fecais. Fotos: Sandra Lima (acervo pessoal).

A partir das atividades da fauna invertebrada do solo, um conjunto diversificado de processos, como a consolidação da agregação pode ser esperado, considerando a grande variedade da composição do solo e diversidade em hábitos alimentares (Lavelle, 1997). Por outro lado, a diminuição do conteúdo de matéria orgânica no solo também afeta as comunidades dos engenheiros do ecossistema (Lugo *et al.*, 2024).

No contexto dos ambientes de montanhas, a densidade de macroinvertebrados do solo diminui em função do aumento da altitude (Seeber *et al.*, 2022), logo é importante conhecer a dinâmica dos organismos e processos do solo, sob a agricultura de montanha. Diante disso, é crucial aprofundar a compreensão das estratégias de manejo do solo que influenciam a vida e as atividades benéficas dos invertebrados edáficos nesse ambiente. Isso é fundamental para promover um monitoramento mais eficaz dos solos, aumento de sua resiliência e sustentabilidade geral dos agroecossistemas (Olayemi *et al.*, 2022).

Neste capítulo serão abordadas algumas pesquisas, as quais avaliaram a macrofauna invertebrada do solo como indicadora de qualidade em áreas de agricultura de montanhas na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro (Figura 4), com o objetivo promover um diagnóstico mais amplo da qualidade do solo nessa região a partir do impacto ambiental que ocorreu em 2011.

FAUNA EDÁFICA EM AGRICULTURA DE MONTANHA

O desastre ambiental de 2011 na Região Serrana do Rio de Janeiro, foi também um marco de destruição nas áreas de muitos produtores agrícolas na região que é conhecida por ser um polo de produção de oleráceas. O episódio de grande impacto, devido ao forte volume de chuvas, resultou no transbordamento de rios, inundação de áreas, assim como o movimento de massa com deslizamentos de solo de encostas, e soterramento de áreas. Nesse cenário vários agricultores aderiram a práticas mais conservacionistas, objetivando melhorar as propriedades do solo e consequentemente sua qualidade, enquanto outros seguiram utilizando fertilizantes com maior intensidade (Figura 4).

Figura 4. Áreas de agricultura de montanhas na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. Foto: Sandra Lima (acervo pessoal).

Desde então, pesquisas têm sido realizadas na região afim de monitorar áreas impactadas e ainda caracterizar áreas de cultivos. Vale destacar que a qualidade do solo é vista numa ótica dinâmica e considerada um indicador sensível das alterações de manejo, e sua capacidade de se recuperar diante de estresses causados por fenômenos naturais ou atividades agrícolas (Aquino, 2005). Assim, a avaliação de organismos dos solos que possam vir a ser utilizados como indicadores biológicos é de grande relevância em virtude da sua dinâmica, em função de uma resposta mais rápida quando comparados aos indicadores físicos e químicos, visto que podem indicar tanto a degradação, quanto o restabelecimento das áreas manejadas ou impactadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Considerando a importância da biota do solo, pesquisas com a macrofauna invertebrada do solo, nesse ambiente, foram realizadas em áreas com diferentes manejos do solo. Para este estudo de caso, foram selecionadas quatro áreas agrícolas diferentes, estudadas em momentos distintos, sendo duas avaliadas em 2014 (A), e duas em 2016 (B), sendo caracterizadas como:

- Área 1A – Manejada com aveia preta para cobertura do solo, desde o segundo semestre de 2011. Sem revolvimento do solo;
- Área 2A – Manejada com consórcio de aveia-preta, nabo forrageiro e ervilhaca, sem revolvimento do solo;
- Área 1B – Não manejada, em pousio com cobertura de gramínea;
- Área 2B – Manejada com aveia preta e cama de aviário para cobertura do solo e ainda adubação com NPK, após impacto por transbordamento do rio em 2011, permaneceu 2 meses inundada com grande deposição de areia na superfície da área.

As áreas em ambos os estudos, estão localizadas na parte mais baixa da paisagem, porém com áreas que não foram afetadas pelo impacto ambiental de 2011 (Área 2A e Área 1B). De acordo com Rossi *et al.* (2015) são observados solos com baixo grau de desenvolvimento pedogenético, como Cambissolos, associados aos solos com maior grau de pedogênese, como Argissolos. O clima é caracterizado como subtropical úmido, do tipo Cfa, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. Ainda de acordo com esses autores, os poucos remanescentes da Mata Atlântica desempenham papel crucial na captação e distribuição da água da chuva nas bacias hidrográficas, no entanto, essa região é naturalmente vulnerável a deslizamentos.

Os trabalhos na região seguiram o mesmo método e números de pontos de amostragem, fato que favorece a comparação entre as pesquisas, e possibilita um melhor entendimento sobre a comunidade da macrofauna, sob diferentes manejos

do solo no ambiente de montanhas. A amostragem da macrofauna invertebrada foi realizada utilizada o método do TSBF *(Biologia e Fertilidade dos Solos Tropicais*) da UNESCO (Anderson; Ingram, 1993). O grupo da macrofauna engloba invertebrados maiores e visíveis a olho nu, entre os quais, os engenheiros do ecossistema e outros organismos com diferentes funcionalidades estão inseridos. Em cada área foram coletados cinco monólitos de solo, com o auxílio de um gabarito com 25 x 25 cm a 10 cm, de profundidade.

As comparações das comunidades da macrofauna nas diferentes áreas foram feitas mediante a utilização do índice de diversidade de Shannon ($H = -\Sigma$ pi.log pi; em que pi = ni/N; ni = densidade de cada grupo; e N = Σ da densidade de todos os grupos), e da equitabilidade de Pielou: *e* = H/log R; onde: R = riqueza, representada pelo número de grupos taxonômicos (Odum, 1988).

Os dados da macrofauna de cada estudo (A e B) foram ainda analisados considerando o delineamento inteiramente casualizado. Sendo submetidos aos testes de normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett. Na sequência, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste de F (ANOVA). Para cada estudo foi realizada uma análise de componentes principais (PCA), para explorar as distribuições das variáveis nas diferentes coberturas, pelo software R (RStudio, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas áreas do primeiro estudo (A), observou-se uma marcante diferença nos valores da densidade sendo a maior densidade de indivíduos verificada na Área 1A, com mais que o dobro da densidade observada na Área 2A (Figura 5). No segundo estudo de caso (B), na área com cultivo de aveia-preta e adubação (Área 2B) foi verificada uma maior densidade de indivíduos, demostrando que essa forma de manejo favoreceu a macrofauna, em detrimento da Área 1B (Figura 5). Os resultados obtidos em ambos os estudos, demonstram a influência do manejo nas condições para a densidade dos organismos da macrofauna.

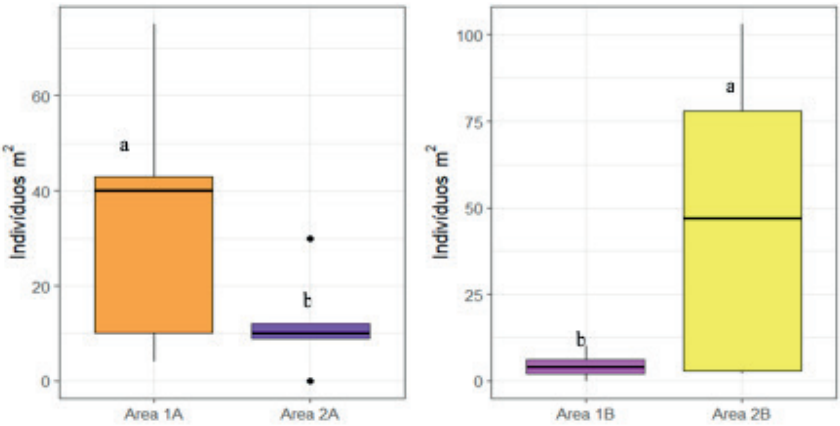


Figura 5. Densidade de indivíduos da macrofauna invertebrada do solo por metro quadrado, nos diferentes ambientes agrícolas. (A) Área 1A – manejada com aveia preta; Área 2A – consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca; (B) Área 1B – pousio com gramínea; e Área 2B – manejada com aveia preta, cama de aviário e NPK.

No que se refere aos valores de riquezas média e total e índices, observou-se pequena variação entre esses em ambos os estudos (Tabela 1), sendo os melhores valores observados nas áreas com menor densidade. Nas áreas do primeiro estudo, os valores das riquezas foram mais elevados, e nesse sentido, considerando que existe uma relação entre a riqueza total e o índice de diversidade de Shannon, verificou-se que os valores dos índices de diversidade e equitabilidade de Pielou também foram melhores na área 2A, na qual o manejo adotado com o consórcio de plantas, favoreceu o equilíbrio da diversidade e equitabilidade que são condições importantes para a manutenção dos serviços ecossistêmicos em que os organismos da macrofauna participam.

Tabela 1. Densidade, riquezas e índices ecológicos de indivíduos da macrofauna invertebrada em diferentes ambientes agrícolas na Região Serrana de Nova Friburgo, RJ

Áreas	Riqueza Média	Riqueza Total	Shannon	Pielou
Área 1A	4,2	9	1,65	0,52
Área 2A	4,2	11	2,68	0,77
Área 1B	2,2	7	1,70	0,61
Área 2B	2,8	6	0,47	0,18

(A) Área 1A – manejada com aveia preta; Área 2A – consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca; (B) Área 1B – pousio com gramínea; e Área 2B – manejada com aveia preta, cama de aviário e NPK.

Por outro lado, nas áreas do estudo B foram verificados baixos valores de riquezas, especialmente no que se refere à riqueza total na área 2B (Tabela 1). Considerando a relação, já mencionada, entre riqueza e diversidade, verificaram-se baixos valores de Shannon e Pielou, o que ressalta a discrepância da equitabilidade, ou seja, no número de organismos nos grupos coletados, possivelmente em decorrência de ter sido identificado um grupo com um maior número de indivíduos em detrimento aos demais grupos.

Na Área 1A, a maior densidade e menores valores dos índices são explicados pela grande ocorrência do grupo Oligochaeta (Figura 6). Pela reconhecida importância desse grupo no solo, pode-se inferir que a presença desses indivíduos ocorreu pelo manejo com adição de material orgânico proveniente da cobertura do solo com aveia preta e ausência de revolvimento promovendo maior disponibilidade de alimentos e, melhores condições para o desenvolvimento da comunidade da macrofauna.

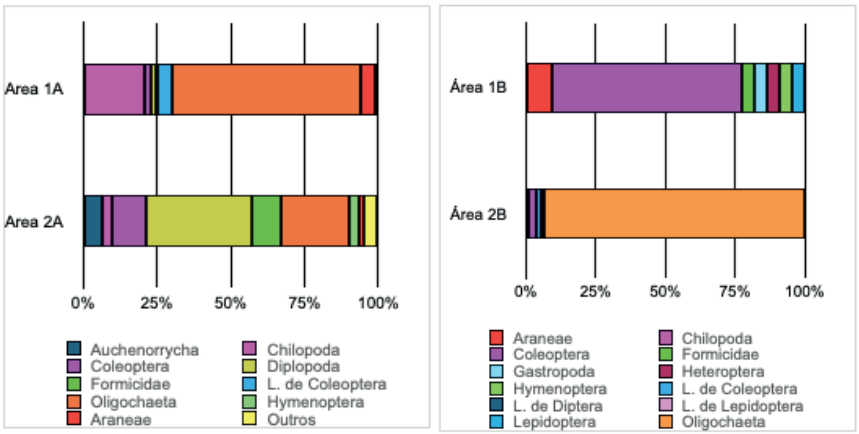


Figura 6. Frequência relativa dos grupos da macrofauna invertebrada do solo sob diferentes manejos agrícolas em ambiente de montanha em Nova Friburgo, RJ. (A) Área 1A – manejada com aveia preta; Área 2A – consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca; (B) Área 1B – pousio com gramínea; e Área 2B – manejada com aveia preta, cama de aviário e NPK.

Adicionalmente, na Área 2A os valores dos índices indicam o retorno de grupos da macrofauna de forma equilibrada, sem maiores frequências de um grupo em detrimento a outros, sendo as maiores frequências registradas para os grupos: Diplopoda, Oligochaeta, Formicidae, Coleóptera e Chilopoda (Figura 6). Nesse contexto, vale ainda destacar que a ocorrência desses importantes grupos na Área 2A, mostra que o manejo do consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca promoveu o reestabelecimento da biota do solo e consequentemente benefícios

aos sistemas por meio da atividade desses organismos, considerando que a área foi submetida ao impacto ambiental da inundação e assoreamento em função do transbordamento de rio.

A frequência relativa dos organismos da macrofauna (Figura 6) também explica os valores dos índices ecológicos no estudo B, no qual verificou-se o mesmo padrão no que se refere à relação de maior abundância e baixos valores dos índices, sendo que na Área 1B esses baixos valores resultaram da maior frequência do grupo Coleoptera em comparação aos demais grupos. Entretanto na Área 1B, a grande frequência do grupo Oligochaeta foi responsável pelos baixos valores dos índices de Shannon, e especialmente Pielou que se refere à equitabilidade.

No que se refere à maior frequência de Coleoptera na área em pousio com gramíneas, é importante considerar a baixa densidade de indivíduos nessa área (Figura 6, Área 1B), não sendo possível fazer uma inferência sobre o grupo, considerando a quantidade de indivíduos. Contudo, vale ressaltar a importância do conhecimento da frequência, da quantidade de indivíduos e os grupos associados a essa área, para evidenciar a necessidade do manejo adequado, com maior diversidade de vegetais, que possa promover maior abundância e diversidade da fauna invertebrada do solo.

Nesse contexto, é relevante considerar que baixos índices ecológicos, decorrentes da maior frequência de grupos importantes como os Oligochaeta não representa um fator negativo, visto que o grupo em questão é considerado um indicador de qualidade do solo, amplamente reconhecido e estudado. Há diversos benefícios no solo atribuídos às atividades do grupo Oligochaeta, contudo, a presença desses invertebrados e dependendo das condições específicas do ambiente, podendo ser citados: o conteúdo de água no solo, considerado por Lavelle (1983); a variável ambiental mais importante na distribuição; e a abundância desse grupo em solos tropicais. Nesse estudo, pode-se relacionar a maior frequência desse grupo ao manejo, assim como observado por Lima *et al.* (2021), em que as condições promovidas pelo manejo com aveia preta como cobertura do solo, favoreceram o aumento da população de Oligochaeta. Adicionalmente, esses sistemas podem ser beneficiados pelo aumento da qualidade da matéria orgânica proveniente de dejetos desse grupo de invertebrados (Silva *et al.*, 2008).

A análise de componentes principais, realizada para cada estudo, corrobora os resultados anteriores e ainda revela os grupos que apresentaram maior contribuição para a separação das áreas em cada estudo. No estudo A, os dois componentes explicaram 56% da variância total (Figura 7A), sendo notória a distribuição e separação dos grupos de organismos nas áreas, sendo que os grupos com menor ocorrência são visualizados no quadrante inferior e relacionados à área 2A devido à baixa ocorrência dos grupos Auchenorryncha, Larva de Lepidoptera e Sternorrhyncha.

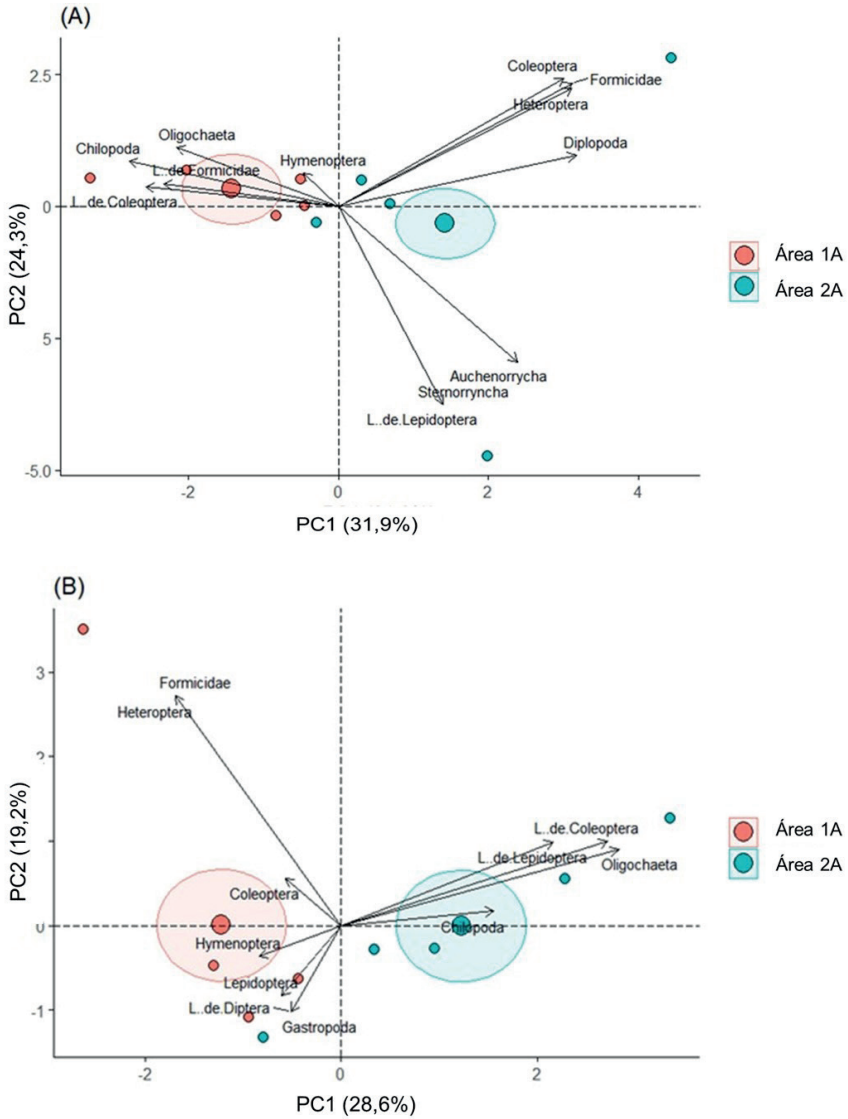


Figura 7. Análises de Componentes Principais nos diferentes ambientes agrícolas (A e B). Área 1A – manejada com aveia; Área 2A – consórcio de aveia-preta, nabo forrageiro e ervilhaca; Área 1B – considerada pousio, com gramínea; e Área 2B – manejada com aveia preta, cama de aviário e NPK.

No que se refere à PCA da macrofauna no estudo B, a soma dos componentes 1 e 2 totalizaram 47% da variância, na qual a PC1 explicou 28,6% da variância (Figura 7B). Vale destacar que a maior densidade de Oligochaeta foi decisiva na separação das áreas, sendo observado que na área 2A esses organismos localizam-se no quadrante superior direito, enquanto na Área 1A os organismos ficaram distribuídos nos dois quadrantes esquerdos, com destaque para o grupo Coleoptera que contribuiu com altos valores de densidade, enquanto os grupos Formicidae com a menor contribuição. O estabelecimento de grupos taxonômicos melhora a agregação do solo contribuindo também nos processos iniciais de decomposição dos resíduos vegetais (Kitamura *et al.*, 2020).

Em ambos os estudos, o grupo Oligochaeta se destacou quanto à densidade. Esse grupo tem uma importância reconhecida como indicador da saúde do solo, sendo dessa forma capaz de predizer sobre o grau de recuperação da área. De acordo com Morlue *et al.* (2021) esse grupo pode reorganizar a estrutura do solo por trituração e homogeneização de materiais minerais e orgânicos do solo em suas entranhas, alterando assim a quantidade e a orientação das partículas de argila.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados em ambos os estudos, evidenciam a relação dos organismos da macrofauna com o manejo do solo, bem como a importância do emprego de um indicador biológico, que possibilita uma avaliação mais rápida sobre o grau de recuperação ou degradação das áreas, e consequentemente da saúde do solo.

A diversidade e a densidade de grupos macrofauna, pode ser um indicativo do reestabelecimento desses organismos, demostrando o grau de recuperação da área.

As áreas manejadas com o uso de aveia preta apresentaram boas condições para a comunidade de Oligochaeta, fato que mostra a importância da avaliação e difusão da importância da comunidade da fauna invertebrada do solo, já que esses organismos são um importante indicador da saúde do solo, sendo muito reconhecido pelos agricultores.

O manejo adequado do solo pode promover melhorias em sua qualidade, funcionado com uma fonte de alimentos tanto de forma quantitativa como qualitativa, fornecendo condições adequadas de temperatura e umidade, que favorecendo o desenvolvimento da comunidade de invertebrados edáficos contribuirão para a manutenção da saúde do solo através dos serviços ecossistêmicos prestados, e também funcionando como indicadores na avaliação de sua qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. **CAB International**. 1993. 221 p.

AQUINO, A. M. Fauna do Solo e sua Inserção na Regulação Funcional do Agroecossistema. *In:* AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (eds.). **Processos biológicos no sistema solo-planta**: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005.

ASSIS, R. L.; ANTÔNIO, G. J. Y.; AQUINO, A. M. Ambientes de montaña: experiencia de desarrollo endógeno y agricultura en la Región Serrana de Distrito de Río de Janeiro (Brasil). **Cultura Científica**, n. 17, p. 10-17, 2019.

ASSIS, R. L.; AQUINO, A. M.; PRADO, R. B.; BORBA, M. F. S.; MAGALHÃES, L. A.; TONIETTO, J. Agricultura de montanha. *In:* VILELA, G. F.; BENTES, M. P. de M.; OLIVEIRA, Y. M. M.; MARQUES, D. K. S.; SILVA, J. C. B. (Editoras Técnicas). **Vida terrestre**: contribuições da Embrapa – Brasília, DF. Embrapa, 2018.

AUCLERC, A.; BEAUMELLE, L.; BARANTAL, S.; CHAUVAT, M.; CORTET, J.; ALMEIDA, T.; DULAURENT, A. M.; DUTOIT, T.; JOIMEL, S.; BOULANGER, G.; BLIGHT, O. Fostering the use of soil invertebrate traits to restore ecosystem functioning. **Geoderma**, 424, n. 116019, 2022.

BARRIOS, E.; SILESHI, G. W.; SHERPHERD, K.; SINCLAIR, F. Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. Pág. 315-328. *In:* WALL, D. H. (Ed.). **Soil Ecology and Ecosystem Services**. Oxforde University Press, 2013.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E.; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. *In:* PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Eds.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 121-154.

BRUSSAARD, L.; PULLEMAN, M. M.; QUÉDRAOGO, E.; MANDO, A.; SIX, J. Soil fauna and soil function in the fabric of the food web. **Pedobiologia, Jena**, v. 50, n. 6, p. 447-462, 2007.

FAO. **State of Knowledge of Soil Biodiversity. Status, challenges and potentialities**. Rome, ISBN 978-92-5-133582-6, 2020.

FERREIRA, C. S.; LIMA, S. S.; SAMPAIO, I. U. M.; RAMOS, A. P.; COELHO, I. S.; PEREIRA, M. G. AGRICULTURA EM AMBIENTE DE MONTANHA *In:* **Economia Ecológica, território e desenvolvimento sustentável**: perspectivas e desafios - Volume 3. Editora Científica Digital, 2023, p. 162-179.

IPCC. **Climate Change and Land**: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, 2019.

KITAMURA, A. E.; TAVARES, R. L. M.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S. Soil macrofauna as bioindicator of the recovery of degraded Cerrado soil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 8, e20190606, 2020.

KÖRNER, C.; OHSAWA, M. Mountain systems. *In:* HASSAN, R.; SCHOLES, R.; ASH, N. (Editors). **Ecosystem and Human Well-being**: Current State and Trends. Volume 1. Washington, DC: Millennium Ecosystem Assessment and Island Press, 2006. p 681-716.

LAVELLE, P. The soil fauna of tropical savannas. I: The community structure. *In:* BOURLIÈRE, F. (Ed.). **Tropical savannas**. Amsterdam: E.S.P.C., 1983. p. 477-484.

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **Eur. J. Soil Biol.** v. 33, p. 159-193, 1997.

LAVELLE, P.; DECAENS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MOTA, P.; ROSSI, J-P. Soil invertebrates as ecosystem engineers. **Europen Journal of Soil Biology**, Montrouge, v. 42, 2006.

LAVELLE, P.; SPAIN, A.; FONTE, S.; BEDANO, J. C.; BLANCHART, E.; GALINDO, V.; GRIMALDI, M.; JIMENEZ, J. J.; VELASQUEZ, E.; ZANGERLE, A. Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. **Acta Oecologica**, v. 105, 2020.

LIMA, S. S.; AQUINO, A. M.; SILVA, R. M.; MATOS, P. S.; PEREIRA, M. G. Edaphic fauna and soil properties under different managements in areas impacted by natural disaster in a mountainous region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, 2021.

LÓPEZ NETTO, A.; AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. Definição de Montanha. *In:* LÓPEZ, A.; AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Orgs.). **Agricultura de montanha**: uma prioridade latente na agenda da pesquisa brasileira. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 15-20.

LÓPEZ NETTO, A. **Políticas públicas para o desenvolvimento rural sustentável em ambientes de montanha no Brasil e na Argentina**. Seropédica. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

LUGO, E. H.; IBAÑEZ, E. V.; LAVELLE, P. A global indicator of soil macroinvertebrate community composition, abundance and diversity. **Applied Soil Ecology**. Volume 193, 2024.

MORLUE, B.; KAMAU, S.; AYUKE, F. O.; KIRONCHI, G. Land use change, but not soil macrofauna, affects soil aggregates and aggregate-associated C content in central highlands of Kenya. **J Soils Sediments**, v. 21, p. 1360-1370, 2021.

NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos Físicos e Químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo Sob Pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1441-1448, 2009.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434 p.

OLAYEMI, O. P.; SCHNEEKLOTH, J. P.; WALLENSTEIN, M. D.; TRIVEDI, P.; CALDERÓN, F. J.; CORWIN, J.; FONTE, S. J. Soil macrofauna and microbial communities respond in similar ways to management drivers in an irrigated maize system of Colorado (USA). **Applied Soil Ecology**, v. 178, 104562, 2022.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica. *In:* **Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais**. Embrapa, p. 121-154, 2015.

PEREIRA, M. G.; FONTANA, A.; RIBEIRO, J. C.; SILVA NETO, E. C.; PINHEIRO JUNIOR, C. R. Solos e sistemas de uso e manejo em ambientes de montanha, Mar de Morros e Tabuleiros Costeiros. *In:* **Manejo do Solo em Sistemas Integrados de Produção**, 2022. 61 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R:** A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria; 2023.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; AQUINO, A. M.; LIMA, S. S.; BERBARA, R. L. L. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com oleráceas em microbacia hidrográfica, após desastre ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.1764-1775, 2015.

SEEBER, J.; STEINWANDTER, M.; TASSER, E.; GUARIENTO, E.; PEHAM, T.; RÜDISSER, J.; SCHLICK-STEINER, B. C.; STEINER, F. M.; TAPPEINER, U.; MEYER, E. Distribution of soil macrofauna across different habitats in the Eastern European Alps. **Scientific Data**. v. 9, n. 632, 2022.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. **Acta Sci. Agron. Maringá**, v. 30, p. 725-731, 2008.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEF, K. A history of research on the link between (micro) agregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

SOUZA, T.; KORMANN, S.; LAURINDO, L. K.; SILVA, L. J. R.; NASCIMENTO, G. S.; LUCENA, E. O. Variabilidade Temporal da Fauna Edáfica e seus Grupos Funcionais em Sistema Agroflorestal. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 2, p. 1-10, 2022.

STORK, N. E. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on earth? **Annual Review of Entomology**, 2018.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in Terrestrial Ecosystems**. Blackwell: Blackwell Scientific Publications, Studies in Ecology, v. 5. 1979.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Resources Outlook 2024**: Bend the Trend – Pathways to a liveable planet as resource use spikes. International Resource Panel. 2024.

VELASQUEZ, E.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes, **Acta Oecologica**, v. 100, 2019.

WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, p. 1-19, 2000.

ZANGERLÉ, A.; PANDO, A.; LAVELLE, P. Do earthworms and roots cooperate to build soil macroaggregates? A microcosm experiment. **Geoderma**, 167-168, p. 303-309, 2011.

CAPÍTULO 10

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E INFILTRAÇÃO DA ÁGUA A PARTIR DE CHUVA SIMULADA EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS EM NOVA FRIBURGO, RJ

Nivaldo Schultz
Professor Associado do Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Karine de Oliveira Andrade
Estudante de Agronomia
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Carlos Roberto Pinheiro Junior
Pesquisador de Pós-Doutorado
Univesidade de São Paulo - ESALq
Piracicaba, SP

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

INTRODUÇÃO

O uso do solo para o desenvolvimento de atividades agrícolas sem observar aspectos técnicos que proporcionam sua conservação provoca impactos negativos nos atributos químicos, físicos e biológicos. Consequentemente, ocasiona maior perda de solo e culmina com sua degradação, especialmente em função da erosão hídrica que tem se tornado cada vez mais comum devido à mecanização da agricultura e que pode se tornar um limitante no sistema de produção agrícola. Nesse contexto, o sistema convencional de preparo do solo, associado ao regime de chuvas intensas, além de causar degradação, impacta diretamente no potencial produtivo das culturas, eleva os custos de produção, reduz a infiltração da água, e degrada a qualidade da água dentro e fora das áreas de produção. O uso continuado desse sistema de produção torna insustentável a produção agrícola em médio e longo prazo e acarreta em sérios problemas de ordem socioeconômica. Entre os cultivos que mais utilizam o sistema convencional de preparo do solo destaca-se a produção de hortaliças, onde a prática de revolvimento com ou sem encanteraimento é comum.

Em se tratando de áreas de cultivo de hortaliças, a Região Serrana do estado do Rio de Janeiro destaca-se como grande produtora, especialmente de espécies folhosas, sendo a maioria das áreas de cultivo localizadas em terrenos de relevo montanhoso. A associação do cultivo em áreas declivosas com preparo convencional do solo com uso de aração, gradagens e enxadas rotativas favorece e intensifica a erosão do solo. Diante desse cenário a mudança de hábitos de produção e a adoção de sistemas de produção conservacionistas, tais como o sistema plantio direto de hortaliças (SPDH) é uma necessidade eminente. Entretanto, a mudança da cultura de cultivar do sistema convencional para outros sistemas que sejam mais conservacionistas normalmente requer a comprovação do aumento da eficiência produtiva das culturas e também a avaliação dos impactos na conservação ou não dos recursos naturais. Essa avaliação dos impactos nos recursos naturais pode ser realizada através das perdas de solo, água e da infiltração da água no solo sob diferentes sistemas de produção agrícola.

Uma forma de obter resultados rápidos e comprovações para serem apresentados para produtores rurais e a comunidade científica é o uso de simuladores de chuvas que permitem uma maior rapidez em estimar a infiltração e as perdas de solo e água, comparando o SPDH com o sistema convencional de preparo do solo. Através dessa metodologia é possível repetir ensaios em diferentes áreas, com diferentes solos e diferentes coberturas do solo em períodos curtos de avaliação. Além disso, é possível simular chuvas com diferentes intensidades, reproduzindo de forma aproximada a variação natural das chuvas que ocorrem numa determinada região.

Apesar do sistema plantio direto (SPD) ser bastante conhecido na produção de grãos, na produção de hortaliças ainda carece de pesquisas e difusão de informações técnicas. Essa falta de dados técnicos e científicos é um fator que limita a adoção por parte dos produtores, bem como a assimilação do conhecimento nesse assunto e transferência de práticas de manejo por parte de muitos técnicos, principalmente devido às possíveis perdas na produtividade quando ainda se encontra em fase de transição do cultivo convencional para o SPD.

De maneira geral o SPD não proporciona ganhos de produtividade nos primeiros anos após a sua implantação, no entanto, após alguns anos, dependendo da condução do sistema de produção e de fatores, como a condição climática, o tipo de solo, estratégia de rotação de culturas, entre outros, hortaliças cultivadas no SPD apresentarão aumentos de produtividade e o solo apresentará melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos, além de melhorar a infiltração da água e reduzir as perdas de solo e da água, minimizando dessa forma os impactos negativos dos sistemas de produção nos recursos naturais.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de diferentes sistemas de manejo do solo em atributos físicos e na infiltração da água no solo a partir de chuva simulada.

Histórico de ocupação da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro

A Região Serrana do estado do Rio de Janeiro apresenta um grande destaque na agricultura de montanha, principalmente o município de Nova Friburgo que é um dos mais antigos da região (Aquino *et al.*, 2014), sendo considerado o "cinturão verde" do estado (Egger, 2010).

Entre 1830 e o final deste mesmo século, se teve o desenvolvimento da monocultura do café, que foi uma atividade importante para impulsionar o crescimento da produção agrícola, em especial os hortifrutigranjeiros, para o abastecimento das fazendas cafeeiras (Carneiro; Rocha, 2009). A posição geográfica da região favoreceu na formação de um centro comercial e prestador de serviços, principalmente por ser passagem obrigatória para o escoamento da produção cafeeira para a capital (Neves, 2000).

Por ser uma região com poucas áreas planas, com predomínio de solos rasos e inclinados, se tornou mais propício a produção de flores e hortaliças, e a partir de 1850 a população ficou cada mais dependente de um abastecimento na própria cidade, visto que não compensava trazer produtos da capital fluminense, e desse modo a produção local alcançou sua autonomia e o transporte foi facilitado a partir de 1873 com a construção da estrada de ferro do Cantagalo, que reduziu significativamente o tempo para conseguir escoar a produção agrícola da região para a capital fluminense (Neves, 2000).

Atualmente é destaque no setor de horticultura, sendo responsável pelo abastecimento das cidades do Rio de Janeiro, representando cerca de 90% da produção de olerícolas do estado (EMATER-RIO, 2020). Por apresentar em sua grande parte topografia acidentada, a produção agrícola está concentrada em pequenos e médios estabelecimentos, o que torna-se um problema para o escoamento da produção, ficando historicamente nas mãos de atravessadores que levam uma parcela significativa dos lucros de suas lavouras, característica marcante na Região Serrana do estado como um todo (Carneiro; Rocha, 2009).

Produção agrícola da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro

O estado do Rio de Janeiro apresenta pequena representatividade econômica na agropecuária em comparação a outros estados brasileiros (IBGE, 2014). Apesar de existirem áreas rurais e com importância significativa para a economia do estado, é uma região considerada como um polo turístico em desenvolvimento crescente (Neves, 2000).

O relevo acidentado e a baixa fertilidade natural dos solos faz com que a produção agrícola e pecuária seja dificultada. Além desses fatores, a tradição turística e o alto grau de urbanização do estado competem com as atividades agropecuárias criando uma condição em que em muitos casos investir em atividades agropecuárias torna-se uma opção pouco atrativa (Souza, 2019).

A região de Nova Friburgo apresenta um relevo montanhoso e escarpado, caracterizado por um conjunto de vales de topografa montanhosa, fortemente ondulada e também ondulada, com algumas encostas de relevo suave-ondulado (Dantas, 2000). Essa geomorfologia limita o manejo agrícola correto dos solos e por isso na maioria dos casos os produtores rurais preparam seus solos com aração, gradagem e uso de enxadas rotativas no sentido do declive das encostas, o que intensifica a degradação dos solos pela erosão hídrica (Carneiro; Rocha, 2009; Mendes *et al.*, 2011).

Apesar de todos esses fatores limitantes, a Região Serrana ainda continua se destacando na olericultura, apresentando uma produção de 419.662 toneladas para uma área colhida em torno de 12.950 ha de olerícolas de frutos e uma área colhida de aproximadamente 10.600 hectares de olerícolas folhosas (EMATER, 2018). Os principais produtos colhidos na Região Serrana são alface (98.176,5 toneladas), couve-flor (27.616,85 toneladas), couve (29.176 toneladas), tomate (52.960,92 toneladas) e morango (865,10 toneladas) (EMATER, 2020).

Sistemas de produção de hortaliças

A produção de hortaliças apresenta grande importância econômica, podendo ser realizada em pequenas propriedades e se tornar uma fonte alternativa para pequenas propriedades devido à sua boa rentabilidade por área cultivada. De acordo com dados do Censo Agropecuário de 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), o Brasil possuía na ocasião 336 mil estabelecimentos nacionais com atividades hortículas, com distribuição de 41% no nordeste, 28% no sudeste, 16,5% no sul, 9,7% no norte e 4,7% no centro-oeste, o que mostra a importância na produção hortícula brasileira.

O sistema convencional de produção é geralmente o adotado nas propriedades produtoras, caracterizado pelas práticas de revolvimento do solo com aração, gradagem e/ou uso de enxadas rotativas, no sentido do declive das encostas (Mendes *et al.*, 2011). Isso tem afetado a conservação do solo, uma vez que o revolvimento excessivo provoca a destruição da estrutura do solo, acelera a mineralização da matéria orgânica e expõe o solo à erosão e consequentemente à redução da infiltração da água no solo (Bronick; Lal, 2005; Loss *et al.*, 2017).

O revolvimento excessivo também pode resultar na formação de uma camada endurecida a aproximadamente 20 cm de profundidade, denominada "pé de arado", sendo prejudicial ao desenvolvimento do sistema radicular das hortaliças (Bertol *et al.*, 2016; Bertoni; Lombardi Neto, 2012). Por fim, o manejo convencional impacta ainda no custo de produção, na qualidade da água, na desvalorização das terras e agrava os riscos em relação à manutenção da garantia da segurança alimentar e de abastecimento de modo geral (Amundson *et al.*, 2015; Bertol *et al.*, 2017; Dechen *et al.*, 2015). Em estudo desenvolvido por Mendes *et al.* (2011), na região de Bom Jardim, RJ, em área com declividade 65 cm m^{-1}, a 960 m de altitude, em um Argissolo Amarelo Distrófico câmbico, avaliando perdas de solo com parcelas padrão Wishmeier (1959), de 4,0 x 22,00 m, foram verificadas perdas de 30 Mg ha^{-1} de solo em área de cultivo convencional de olerícolas e 10 Mg ha^{-1} em área sob floresta nativa. Esses resultados mostram que as perdas de solo e o escoamento superficial na região podem ser elevados, mesmo em áreas sob vegetação nativa e muito intensificadas nas áreas cultivadas. Em outro estudo desenvolvido por Schultz *et al.* (2020), avaliando a produtividade de couve-flor sob diferentes sistemas de manejo, foi verificado produtividade superior no SPD em relação ao sistema convencional de cultivo com aração e uso de enxada rotativa, o que demonstra que é possível fazer a transição do sistema de cultivo convencional para uma agricultura mais conservacionista.

Nos últimos anos, a produção de hortaliças no SPD utilizando diversas plantas de cobertura do solo tem apresentado avanços em algumas regiões brasileiras (Echer *et al.*, 2016; Hirata *et al.*, 2014; Melo; Madeira; Peixoto, 2010; Souza *et al.*, 2014). Na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, Barradas *et al.* (2001), avaliando doze tipos de plantas de cobertura do solo, verificaram aos 119 dias após a semeadura, a produção de 5,3 Mg ha^{-1} para a aveia preta; 4,3 Mg ha^{-1} para o azevém-anual; 2,7 Mg ha^{-1} para o chícharo; 6,3 Mg ha^{-1} para a ervilhaca-comum; 1,4 Mg ha^{-1} para a serradela-flor-rosa; 7,0 Mg ha^{-1} para o tremoço-amarelo; 7,7 Mg ha^{-1} para o tremoço-branco cv. comum; 6,3 Mg ha^{-1} para o tremoço-branco cv. ML doce; 7,9 Mg ha^{-1} para o tremoço-branco cv. TRM 881; 1,3Mg ha^{-1} para o trevo-branco; 3,8 Mg ha^{-1} para o trevo-vermelho e 3,4 Mg ha^{-1} para o trevo-vesiculado. Antunes (2016), avaliando a influência do manejo da palha de aveia preta e tremoço-branco sobre a fauna invertebrada do solo em ambiente de montanha verificou a produção de 2,1 Mg

ha^{-1} de massa seca para a aveia preta; 4,8 Mg ha^{-1} para o tremoço-branco; 4,0 Mg ha^{-1} para o cultivo consorciado entre aveia/tremoço; e 5,8 Mg ha^{-1} para as plantas espontâneas.

Estudo realizado por Loss *et al.* (2017) comparando o SPD com o sistema de cultivo convencional de hortaliças, verificaram que o SPD aumentou os índices de agregação, porosidade total e umidade volumétrica. Em estudo desenvolvido por Torres *et al.* (2015), avaliando atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura em semeadura direta, concluiu-se que: a utilização das diferentes coberturas e a introdução do sistema de semeadura direta após 12 anos contribuíram positivamente nos atributos físicos na camada superficial do solo, no qual, a densidade do solo reduziu nas camadas de 10 a 20 cm; apesar de uma redução também na macroporosidade o valor não atingiu o limite de 10% que limitaria o crescimento das raízes e a percolação de água e trocas gasosas; além disso, teve um aumento significativo da microporosidade e da porosidade total quando comparado à época em que o experimento foi implantado.

Degradação do solo e da água em sistema de produção convencional

No sistema de produção convencional, o solo fica exposto à ação direta das chuvas e/ou da irrigação e consequentemente sofre com perdas de solo e água, tendo desse modo, alterações em suas propriedades físicas e químicas (Silva *et al.*, 2005). Além disso, esse sistema favorece a formação do selamento superficial onde se tem a formação de uma fina camada de solo compactada devido à ação direta da gota de chuva sobre o solo (Panachuki *et al.*, 2011). Quando o solo encontra-se coberto pela vegetação viva ou morta aumenta-se a absorção da energia cinética da chuva pela cobertura, reduzindo-se assim a energia residual e a desagregação do solo (Lombardi Neto *et al.*, 1988).

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o fator cobertura e manejo do solo representa o somatório dos produtos da razão de perda de solo (RPS) pela fração do índice de erosividade (FEI30) variando de acordo com cada cultura e com cada estádio da mesma, de variar de 0 a 1, sendo próximo a 0 nos sistemas de manejo conservacionistas e próximo a 1 nos não conservacionistas (Bertol; Schick; Batistela, 2002).

Em estudo realizado por Silva *et al.* (2005), concluiu-se que o SPD reduz a perda de solo quando comparado ao manejo convencional devido à presença de cobertura vegetal que protege o solo contra o impacto das gotas de chuva e também pelo fato do solo ser menos resistente ao escoamento devido ao preparo, confirmando o mesmo que Pruski *et al.* (1997) constataram. No qual, esses autores comentam

que quanto maior for a proteção com cobertura vegetal, menor será a ocorrência de erosão. Foi observado também em estudo realizado por Almeida *et al.* (2018), vantagem no SPD visto que a presença de cobertura vegetal influencia mais na infiltração de água dependendo do uso da terra do que o tipo de preparo do solo, sendo que ela tende a ser menor em solos sem cobertura quando comparado a sistemas conservacionistas.

Uso de simulador de chuva para avaliação da infiltração, perda de solo e água

Os pesquisadores Bubenzer e Meyer (1965) estão entre os pioneiros no desenvolvimento de simuladores de chuva para estudos de erosão em laboratórios e o consideram essencial para a obtenção de dados de escoamento superficial e de erosão em períodos curtos de tempo. O simulador de chuva tem sido utilizado para possibilitar a estimativa de perdas de água, de solo, de nutrientes e taxa de infiltração, escoamento acumulado e infiltração acumulada em diferentes tipos de manejo do solo e de acordo com diferentes intensidades de chuva para facilitar na obtenção desses dados.

O uso desse equipamento portátil facilita na realização de pesquisa, no campo e na dinâmica do processo erosivo que é alterada de acordo com o tipo de manejo do solo devido à facilidade em obter os parâmetros necessários (Alves Sobrinho; Gómez-Macpherson; Gómez, 2008), sendo um método cada vez mais utilizado (Ries *et al.*, 2009). Apesar de ser uma forma de agilizar a obtenção de dados, existe uma limitação devido à impossibilidade de reproduzir as características das chuvas naturais em relação à intensidade, duração e energia de impacto das gotas de chuva; outra dificuldade é na comparação de resultados visto que existe uma grande diversificação de simuladores de chuvas e intensidade e tipos de parcela adotado (Eltz; Mehl; Reichert, 2001).

Em estudo realizado por Carvalho *et al.* (2008), verificou-se uma maior taxa de escoamento quando se teve aplicação de altas intensidades e isso é justificado pelo fato de quando a aplicação de chuva atinge intensidades superiores à taxa de infiltração do solo naquele instante, ocasiona um acúmulo de água na superfície e consequentemente, ocorre o escoamento superficial e ao contrário acontece quando a taxa de aplicação é baixa, o escoamento também é reduzido. Carvalho *et al.* (2009) utilizando simulador de chuva verificaram perda de água de 161,2, 68,5, 154,5, 215,5 e 209,1 mm nos tratamentos com Mucuna, Crotalária, Milho em Nível, Milho Morro abaixo e Solo Exposto, respectivamente. Verificaram maiores perdas nos tratamentos milho morro abaixo e solo exposto devido ao preparo do solo realizado no sentido declive, o que ocasionou em uma maior velocidade de

escoamento da água e consequentemente em maiores perdas de água quando comparado aos outros tratamentos. Os valores totais de perdas de solo nesse experimento variou entre 1.862,2 a 12.399,8 kg ha^{-1}, nos tratamentos crotalária e milho morro abaixo. No mesmo experimento foi possível constatar a diferença entre os resultados de preparo do solo utilizando a mesma cultura, como foi o caso do milho em nível apresentando uma perda de solo de 3.877,1 kg ha^{-1} e 12.399,8 kg ha^{-1} no cultivo de milho morro abaixo e nesses mesmos tratamentos foi constatado um escoamento superficial de 154,5 e 212,5 mm, respectivamente. Foi verificado menores perdas de solos nos tratamentos em que o preparo do solo foi realizado em nível. Segundo Amorim (2003), isso se deve ao fato de que o cultivo em nível propicia em uma menor velocidade e tensão cisalhante do escoamento superficial fazendo com que a capacidade de transporte e desprendimento das partículas de solo sejam reduzidas.

Estudo realizado por Bertoni e Lombardi Neto (2012) também afirma que o cultivo em nível reduz em até 50% as perdas de solo quando comparado com o cultivo morro abaixo.

Panachuki *et al.* (2011), quantificaram perdas de solo e água superiores nos tratamentos de semeadura direta sem resíduo vegetal quando comparado com os tratamentos de semeadura direta com 2,0 Mg ha^{-1} de resíduo e com 4,0 Mg ha^{-1} e isso ocorreu devido à presença de resíduos que fazem com que a infiltração de água seja favorecida e o escoamento superficial reduzido. Foi comparado também o preparo do solo com grade aradora, que apresentou maiores perdas de solo e de água do que nos do preparo com escarificador.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental foi implantada em setembro de 2017 no sítio Pica-Pau-Amarelo, na microbacia Barracão dos Mendes, na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, localidade de Serra Velha, município de Nova Friburgo, RJ (coordenadas 22° 17' 6,96"S - 42° 39' 24,04" O), em um Cambissolo Háplico (Santos *et al.*, 2018), e foi conduzida até outubro de 2020. O clima da região é classificado como Cwb segundo o modelo de Köppen com temperatura média de 18,4 ºC e precipitação pluviométrica média anual de 1.372 mm.

Na região predomina a agricultura convencional com o preparo do solo mecanizado, normalmente com arações e gradagens e/ou o emprego de enxadas rotativas no sentido do declive das encostas, uma vez que a declividade predominante é superior a 30%, impossibilitando assim o preparo mecanizado do solo acompanhando o contorno das encostas. A Figura 1A ilustra a paisagem da região onde o estudo foi desenvolvido; a Figura 1B o preparo da área experimental

com a incorporação de calcário em setembro de 2017; e a Figura 1C um ciclo de cultivo de couve-flor. O experimento foi implantado em uma área de pastagem formada com diferentes espécies de brachiarias (*Urochloa* sp.) e diferentes espécies invasoras por aproximadamente 15 anos.

Em maio de 2017, a área foi dessecada com herbicida. Em agosto de 2017 foram coletadas 10 amostras simples de terra nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, utilizando trado sonda, para avaliação dos atributos químicos e a textura do solo na área total. Os atributos avaliados foram pH em água, Ca2+, Mg2+, Al3+, H+Al, P, K+, Na+ e carbono orgânico do solo (COS). Com base nos resultados da análise foram calculados a soma das bases trocáveis (S), a capacidade de troca catiônica (T) do solo a pH 7,0 e saturação por bases (V%), segundo Silva (2009). A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta, segundo Donagemma *et al.* (2011). Resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos, carbono orgânico e textura do solo da área experimental antes da implantação do experimento

Prof.	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	S	T	V	K	P	COS	Argila	Areia	Silte
Cm	H_2O	----------cmolcdm^3----------								%	-mg dm^3-		----------g kg^{-1}----------			
0 a 20	5,49	2,85	1,90	0,48	0,04	0,85	11,90	5,72	17,62	32	188	33	27,98	408	404	188
20 a 40	5,10	2,65	1,30	0,47	0,04	1,20	12,10	4,46	16,56	27	184	23	25,33	519	383	98

Foram coletadas 4 amostras na área total para determinação da densidade do solo (Ds), a densidade das partículas (Dp) e o cálculo da porosidade total (PT) do solo de acordo com Teixeira *et al.* (2017) (Tabela 2).

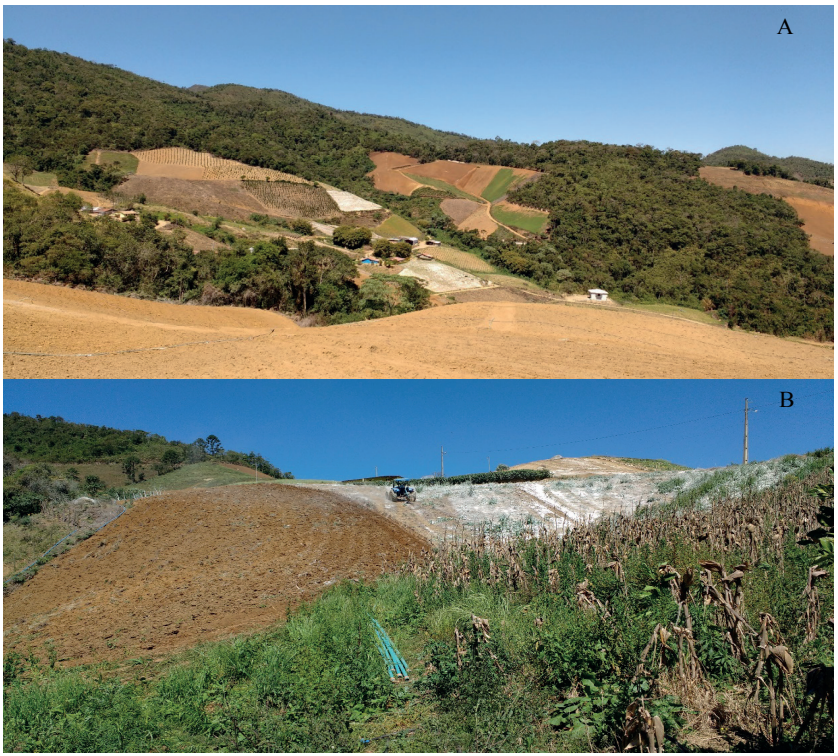


Figura 1. (A) Paisagem regional, Serra Velha, microbacia Barracão dos Mendes, Nova Friburgo, RJ; (B) preparo da área experimental com a incorporação de calcário em setembro de 2017; (C) ciclo de cultivo de couve-flor. Fotos: Nivaldo Schultz.

Tabela 2. Densidade do solo (Ds) e Porosidade total (PT) do solo antes da implantação do experimento em setembro de 2017

Ds	PT
Mg m^{-3}	**%**
0,0-0,10 m	
1,20	48
0,10-0,20 m	
1,10	52
0,20-0,40 m	
1,10	52

Em setembro de 2017 foi realizada calagem com calcário dolomítico com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 76%, com 30% CaO e 10% de MgO, com o intuito de elevar a saturação por bases para 60%. A incorporação do calcário foi realizada com apenas uma aração com arado de 3 discos acoplados a um trator de 65 cv. Essa recomendação teve como objetivo estabelecer uma dose de calcário intermediária entre a recomendação do *Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro* (Freire *et al.*, 2013), que recomenda a dosagem de calcário com base na neutralização do Al, e a recomendação de May *et al.* (2007), os quais recomendam a elevação do valor V para a couve-flor, principal cultura cultivada na localidade, para 80%. A calagem foi realizada com aplicação de dose equivalente a 8,30 Mg ha^{-1}, em dose única e incorporada a 20 cm de profundidade com uma operação de aração (Figura 1B).

Após a calagem foi delimitada a área experimental adotando-se um delineamento em blocos casualizados, com 4 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas (PCPE); plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura (PCPC), plantio direto na palhada de plantas de cobertura (PDPC) e plantio direto na palhada de plantas espontâneas (PDPE). A área das parcelas foi de 20 m^2 (5 x 4 m) e a área total do experimento foi de 320 m^2. O tratamento PCPE é tradicional na região e por isso foi inserido no estudo. Em função da declividade da área experimental (26%) o preparo do solo foi realizado no sentido do declive da encosta. De outubro de 2017 a agosto de 2020 foram realizados cultivos alternados entre plantas de cobertura, couve-flor e milho, de acordo com sequência apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Cultivos realizados na área experimental entre outubro de 2017 e agosto de 2020

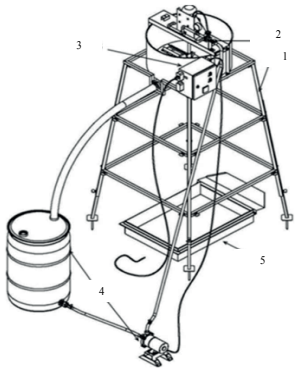
Período	Cultivo
Outubro de 2017 a janeiro de 2018	Consórcio crotalária juncea + feijão de porco
Fevereiro a junho de 2018	Cultivo de couve-flor
Julho a setembro de 2018	Cultivo de aveia preta
Novembro de 2018 a março de 2019	Milho (para colheita de espigas verdes)
Maio a agosto de 2019	Cultivo de couve-flor
Outubro de 2019 a janeiro de 2020	Consórcio crotalária juncea + feijão de porco
Maio a agosto de 2020	Cultivo de couve-flor

Durante a condução do experimento todos os tratos culturais necessários para o cultivo de hortaliças foram realizados, inclusive capinas nas parcelas onde o cultivo foi realizado no SPD (PDPC e PDPE). A adubação com nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) foi realizada de acordo com o *Manual de Calagem e Adubação do Estado do Rio de Janeiro* (Freire *et al.*, 2013).

Em novembro de 2020 foram realizadas amostragens do solo para avaliar a Ds, Dp e PT, segundo Teixeira *et al.* (2017). Além da Ds, Dp e a PT, foi avaliada a resistência do solo à penetração (RSP), segundo Stolf *et al.* (2014). A Ds, Dp e o VTP foram determinadas nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, com a abertura de uma mini trincheira por parcela. Em função de ser um atributo do solo estável, a Dp foi avaliada através de uma média de todos os tratamentos, para o cálculo da VTP do solo. A RSP foi avaliada na camada de 0,0-0,40 m de profundidade, com base na média de 4 pontos por parcela, com as quais foram elaboradas as curvas de RSP. No momento da avaliação da RSP foram coletadas duas amostras de solo por parcela, na camada de 0,0-0,40 m para a determinação do conteúdo de água no solo.

Em novembro de 2020, dois meses após a colheita da couve-flor e com a presença de plantas espontâneas em toda a área experimental foram simuladas chuvas nas parcelas experimentais para avaliar a infiltração e as perdas de solo e água nos diferentes sistemas de manejo nos quais o solo foi mantido de 2017 a 2020 (Tabela 3). Foi utilizado o simulador de chuva portátil InfiAsper (Alves Sobrinho; Ferreira *et al.*, 2002; Alves Sobrinho; Gómez-Macpherson; Gómez, 2008), calibrado para aplicar chuvas constantes com intensidade de 80 mm h^{-1}. A instalação do equipamento no campo e a operacionalidade seguiu as recomendações de Alves Sobrinho, Gómez-Macpherson e Gómez (2008), a saber: bicos aspersores a 2,30 m de altura em relação ao nível médio do solo no centro da parcela experimental (chapa de aço com 0,20 m de altura, com 1 x 0,70 m de comprimento e largura, respectivamente); rotação do disco obturador, responsável pela formação das gotas da chuva simulada a 230 rpm e pressão hidráulica de 4 PSI. A Figura 2A mostra os diferentes componentes que compõem o simulador de chuvas InfiAsper.

A



B

Figura 2. (A) Esquema de montagem e identificação dos componentes do simulador de chuva InfiAsper: 1. Estrutura metálica; 2. Bicos injetores de água e disco obturador; 3. Painel de controle; 4. Conjunto motobomba e reservatório de água; 5. Parcela coletora do escoamento. Adaptado de Macedo et al. (2021). (B) Simulador montado no campo na área experimental em Nova Friburgo. Foto: Nivaldo Schultz.

A parcela experimental foi cravada no solo a aproximadamente 15 cm de profundidade, restando aproximadamente 5 cm acima do nível do solo para coletar o escoamento superficial oriundo da chuva simulada. Com o objetivo de padronizar a umidade do solo foi realizado o umidecimento com a aplicação de 10 L de água com o uso de regador. Após o umidecimento foi iniciada a chuva simulada. A coleta do escoamento superficial foi iniciada após a formação das primeiras gotas na calha coletora. Após o início do escoamento, a coleta para a avaliação da perda de água foi realizada em intervalos de 1 minuto e o volume escoado medido com auxílio de proveta graduada. Para quantificar a perda de solo os volumes escoados a cada 5 minutos foram medidos e armazenados em garrafas plásticas de 1 L, totalizando 12 amostras por teste. No laboratório, essas amostras foram agitadas, transferidas para provetas onde receberam a adição de 10 mL de solução de sulfato de alumínio a 0,018 mol L^{-1} para favorecer a floculação e a sedimentação das partículas. Após a sedimentação foi realizada a sucção da água até aproximadamente 2 cm acima do nível do material sedimentado no fundo da proveta, o qual com o auxílio de pisseta e água destilada foi transferido para placa de petri previamente seca em estufa a 105 ºC por uma hora. As placas de petri contendo os sedimentos foram levadas para estufa a 105 ºC onde permaneceram até atingirem peso constante. Após a secagem foi realizada a pesagem das placas com os sedimentos coletados a cada 5 minutos e os cálculos para estimar as perdas de solo em cada minuto foram realizados em planilha do Excel, de onde foi totalizado a perda de solo em cada teste de 1 hora.

A partir do conhecimento da intensidade da chuva aplicada e do escoamento superficial foram elaboradas as curvas de escoamento superficial acumulado (ESA), infiltração acumulada (IA) e a taxa de infiltração estável (TIE) em cada sistema de manejo.

Os dados de Ds, PT e perdas de solo foram submetidos ao teste de distribuição normal (Shapiro-Wilk), análise de variância e teste de médias ($p \leq 0,05$), utilizando o programa Sisvar 5.6. As curvas de RSP foram elaboradas em função da metodologia descrita por Stolf *et al.* (2014). As curvas de ESA, IA e a TIE foram elaboradas em planilha do Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Ds e a PT diferiram entre os sistemas de manejo após 3 anos de cultivo (Tabela 4). A Ds na camada de 0,0-0,10 m variou de 0,94 Mg m^{-3} no PCPC para 1,05 Mg m^{-3} no PCPE, diferindo entre si, porém ambos não diferiram do PDPC e PDPE. Na camada de 0,10-0,20 m a variação foi de 0,93 Mg m^{-3} no PDPE a 1,11 kg m^{-3} no PCPE, não sendo observada diferença entre PCPE e PCPC, porém ambos diferiram do PDPC e do PDPE. Para essas duas formas de manejo não foram verificadas diferenças entre si, porém os valores foram inferiores quando comparados às demais formas de manejo. Na camada de 0,20-0,40 m o menor valor, 0,89 Mg m^{-3}, foi verificado no PDPE e o maior de 1,04 Mg m^{-3} no PCPC; não sendo verificadas diferenças entre PCPE e PCPC, porém o manejo PDPE diferiu do PCPE e PCPC.

Os valores de Ds quantificados nos quatro sistemas de manejo são baixos do ponto de vista agronômico, indicando não haver restrições ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Segundo Reinert *et al.* (2008), para solos argilosos, como é o caso do solo da área experimental, o limite crítico de Ds para o crescimento adequado das raízes das plantas está entre 1,30 e 1,40 Mg m^{-3}. Apesar dos valores de Ds estarem baixos, de acordo com valores gerais na literatura, nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m o sistema de cultivo convencional (PCPE e PCPC) favoreceu o aumento dos valores de Ds em comparação ao SPD (PDPC e PDPE), especialmente na camada de 0,10-0,20 m. Esse resultado evidencia que a mecanização do solo está afetando negativamente os atributos físicos do solo e pode em médio e longo prazo promover a compactação e elevar a Ds para valores superiores àqueles considerados adequados para os cultivos agrícolas. Esse resultado posteriormente, deve ser relacionado com a produtividade, se está havendo produtividade baixa, ou se nos próximos anos haverá redução de produtividade.

A PT variou de 54,20% no PCPE a 59,00% no PCPC na camada de 0,0-0,10 m, diferindo entre si, porém sem apresentarem diferenças em comparação ao PDPC e ao PDPE. Nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m nos manejos PCPE e PCPC foram

verificados menores valores de PT, sendo esses inferiores aos manejos PDPC e o PDPE. Assim como observado para a Ds, os valores de PT mostram que, independentemente do sistema de manejo, o solo encontra-se em condições físicas adequadas para o cultivo, bem como para adequada troca gasosa e infiltração da água, no entanto, indicando que o preparo mecânico está afetando negativamente a agregação do solo, quando comparado com o SPD, seja com o cultivo de plantas de cobertura do solo ou as plantas espontâneas. Resultados similares foram observados por Loss *et al.* (2017) ao avaliarem os atributos físicos de um solo cultivado com cebola em SPDH e sistema com preparo convencional do solo por 6 anos, especialmente quanto ao aumento da PT.

Tabela 4. Densidade do solo (Ds) e volume total de poros (PT) do solo após 3 anos de produção de hortaliças sob diferentes sistemas de manejo

Tratamentos	Ds	PT
	Mg m^{-3}	%
	0,0-0,10 m	
PCPE	1,05 a	54 b
PCPC	0,94 b	59 a
PDPC	1,00 ab	57 ab
PDPE	1,03 ab	55 ab
PCPE	1,11 a	52 b
PCPC	1,10 a	53 b
PDPC	0,94 b	59 a
PDPE	0,93 b	60 a
PCPE	1,01 a	56 b
PCPC	1,04 a	55 b
PDPC	0,94 ab	59 ab
PDPE	0,89 b	61 a

Médias de 4 repetições. PCPE: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas. PCPC: plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura. PDAP: plantio direto na palhada de plantas de cobertura. PDPE: plantio direto na palhada das plantas espontâneas. As letras comparam os sistemas de manejo dentro de cada profundidade Teste t (LSD) a 5% de significância dos erros.

Os sistemas de manejos afetaram a RSP na camada de 0,0-0,40 m de profundidade, avaliada com 33% de umidade, após 3 de anos de cultivo (Figura 3). Os elevados valores de umidade observados foram resultados de chuvas que ocorreram nos dias anteriores à avaliação. Nos quatro sistemas de manejo, a RSP na camada de 0,0-0,05

m variou em torno de 0,50 MPa. Na camada de 0,05-0,20 m, as curvas mostram aumento praticamente linear na RSP no PCPE e no PCPC, chegando a 2,23 MPa a 0,20 m de profundidade no PCPE e 2,12 MPa no PCPC, com manutenção da RSP próximo de 2,20 MPa na camada de 0,20-0,40 m do PCPE, e pequeno aumento nessa camada no manejo PCPC, alcançando valores de 2,90 MPa a 0,37 m de profundidade. Nos manejos com PDPC PDPE verificou-se aumento praticamente linear na camada de 0,0-0,10 m, chegando próximo de 2 MPa, com pequena redução na camada de 0,10-0,30 m e aumento na camada de 0,30-0,40 m, chegando a aproximadamente 2,25 MPa nos sistemas PDPC e PDPE.

De maneira geral, os valores RSP encontram-se dentro da faixa considerada adequada para o desenvolvimento normal das raízes das plantas. De acordo com Taylor, Roberson e Parker Jr. (1966) e Taylor (1971), de maneira geral o limite crítico de RSP para o desenvolvimento normal das raízes das plantas é de 2,0 a 2,5 MPa, quando o solo se encontra com umidade próxima da capacidade de campo, condição em que a maioria das culturas agrícolas apresenta seu desenvolvimento máximo, se nenhum outro fator de produção se tornar limitante.

Os resultados desse estudo divergem daqueles observados por Costa *et al.* (2003), no qual foi verificado aumento da RSP no sistema plantio direto, apesar de o solo apresentar a mesma densidade. Os autores justificam o comportamento observado, pelo solo apresentar uma maior coesão e estabilidade dos agregados no SPD em comparação ao sistema convencional. Em estudo para o estabelecimento de pastagens realizado por Costa *et al.* (2012), foram verificados valores RSP inferiores a 1,0 MPa, sendo observado ainda maior desenvolvimento das raízes de Panicum maximum no solo com essa condição física. Silva, Reichert e Reinert (2004) afirmam que a RSP é muito variável e facilmente influenciada pelas condições de manejo do solo, da intensidade do uso de máquinas e implementos agrícolas e da umidade do solo. Segundo Boone, Vermeulen e Kroesbergen (1994), baixos valores de resistência à penetração podem estar associados à maior porosidade de solo, proporcionando um melhor desenvolvimento de raízes.

Os resultados mostram que nos manejos PCPE e PCPC o revolvimento do solo reduziu a RSP na camada de 0,0-0,20 m, porém causou elevação dos valores na camada abaixo de 0,20 m. A elevação dos valores de RSP a 0,20 m de profundidade é resultante da aração e do uso de enxada rotativa no preparo do solo, uma vez que o tombamento da leiva pelo arado e/ou o revolvimento do solo pela enxada rotativa ocorre sempre próximo de 0,20 m de profundidade. Diferentemente dos manejos PCPE e PCPC, no PDPC e PDPE foi observado aumento da RSP na camada de 0,0-0,10 m, porém sem aumento dos valores em profundidade, especialmente na camada de 0,10-0,30 m. A elevação dos valores de RSP no PCPE e no PCPC foi pequena, no entanto, trata-se de um período de manejo de apenas três anos,

resultado que leva a inferir que o plantio direto das hortaliças preserva a estrutura do solo, especialmente em profundidade superior a 0,10 m. Nesse período minimizou os problemas oriundos do aumento da RSP.

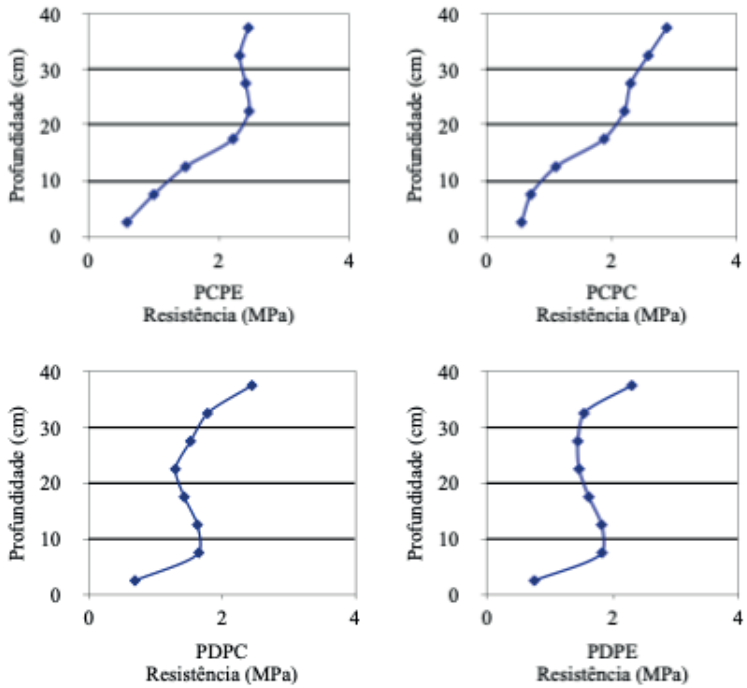


Figura 3. Resistência do solo à penetração após 3 anos de produção de hortaliças sob diferentes sistemas de manejo. PCPE: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas; PCPC: plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura; PDAP: plantio direto na palhada de plantas de cobertura; PDPE: plantio direto na palhada das plantas espontâneas.

Na Figura 4A é apresentada a infiltração acumulada ao longo de 1 hora de chuva simulada com intensidade de 80 mm h^{-1}, em diferentes sistemas de manejo do solo. Foram verificados 66,79 mm no PCPE, 70,26 mm no PCPC, 73,85 mm no PDPC e 78,15 mm no PDPE. O escoamento superficial acumulado foi de 13,21 mm no PCPE, 9,74 mm no PCPC, 6,15 mm no PDPC e 1,85 mm no PDPE (Figura 4B). Esses resultados mostram elevada infiltração e baixo escoamento superficial em todos os sistemas de manejo. Em estudo realizado por Almeida *et al.* (2019), em um Argissolo Vermelho-Amarelo na Baixada Fluminense, RJ, com 9% de declividade e preparado com duas arações e uma gradagem niveladora foi observado o escoamento acumulado de 54,10 mm h^{-1} com a aplicação de uma chuva com intensidade constante de 76,50 mm h^{-1}, porém com duração de 38 minutos.

A TIE foi de 70,99 mm h^{-1} no PCPE, 73,02 mm h^{-1} no PCPC, 75,36 mm h^{-1} no PDPC e 77,46 mm h^{-1} no PDPE (Figura 4C). Tomando como referência a topografia acidentada da região e da área experimental (26%) e relatos de estudos que avaliaram infiltração e escoamento superficial de água com chuvas simuladas em diversas regiões do Brasil (Almeida *et al.*, 2019; Almeida *et al.*, 2021; Carvalho *et al.*, 2015; Marioti *et al.*, 2013; Panachuki *et al.*, 2011), verifica-se que o solo em questão apresenta elevada TIE; resultado que não era esperado, uma vez que a região apresenta sérios problemas com a degradação do solo pela chuva. Em estudo realizado por Mendes, Mahler e Andrade (2011) na mesma região, avaliando perdas de solo com chuva natural, em diferentes sistemas de manejo do solo, sobre um Argissolo Amarelo Distrófico câmbico verificou-se perdas de 30 Mg ha^{-1} de solo em área de cultivo convencional de olerícolas e 10 Mg ha^{-1} em área sob floresta nativa. Nesse estudo, a elevada infiltração é resultante dos atributos físicos do solo, que possui baixos valores de Ds e elevada PT (Tabela 3), conferindo ao solo elevadas taxas de infiltração e por consequência baixo escoamento superficial, o que corrobora com a baixa RSP (Figura 2), que apresentou valores baixos até 0,40 m de profundidade. Outro aspecto que precisa ser considerado é a presença das plantas espontâneas na área na época da avaliação (Figura 2B), a qual protege o solo contra o impacto direto da gota de chuva e favorece a infiltração, e dessa forma reduzindo o escoamento superficial. Esse resultado mostra que a manutenção do solo cobertura, mesmo que seja com as plantas espontâneas é um bom manejo para tornar os sistemas de produção de regiões declivosas mais conservacionistas.

A perda de solo nos quatro sistemas de manejo foi baixa (Figura 5), o que se explica pela elevada infiltração e consequentemente baixo escoamento superficial. Apesar dos valores terem sido baixos, verifica-se que o SPD com plantas de cobertura do solo (PDPC) reduziu as perdas em mais de 50% quando comparado ao sistema convencional (PCPE), porém o PDPE não reduziu de forma tão significativa as perdas de solo em relação ao PCPE. Uma possível explicação para o aumento da eficiência das plantas de cobertura do solo em comparação às espontâneas na perda de solo pode estar associada ao maior volume de palhada na superfície do solo e também pela melhoria na agregação do solo com a presença das plantas de cobertura em relação às espontâneas. De acordo com Mello *et al.* (2003) a redução da erosão hídrica pela presença de cobertura vegetal é devido à sua capacidade em amortecer o impacto da energia cinética das gotas de chuva de modo a amenizar o escoamento superficial e consequentemente, a menor perda de solo e de água. Pruski *et al.* (1997) também afirmam que quanto maior for a proteção oferecida ao solo, por diferentes tipos de cobertura vegetal, menor será o efeito da ação da chuva, diminuindo o impacto das gotas diretamente sobre a superfície do solo, reduzindo a desagregação do solo e diminuindo as perdas por erosão.

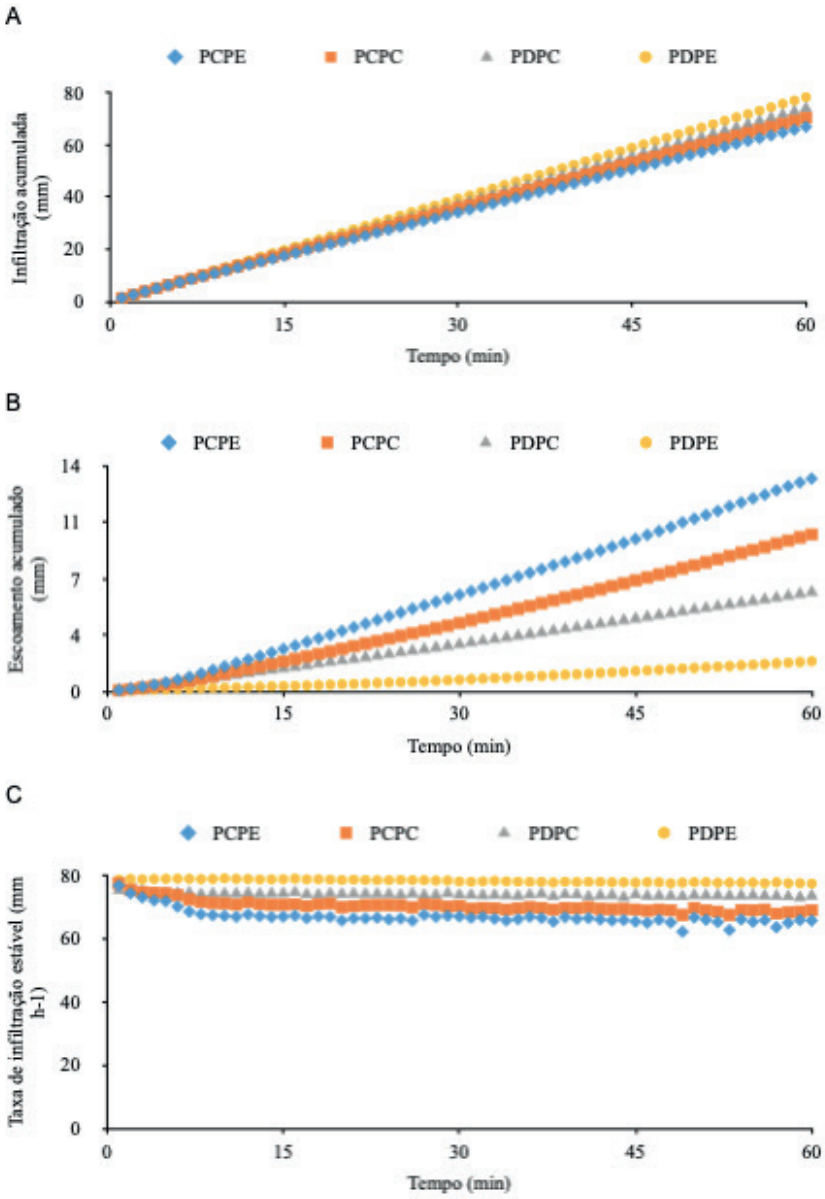


Figura 4. Infiltração acumulada (A); escoamento acumulado (B); e taxa de infiltração estável (C) em área de produção de hortaliças, sob diferentes sistemas de manejo, na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. PCPE: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas; PCPC: plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura; PDPC: plantio direto na palhada de plantas de cobertura; e PDPE: plantio direto na palhada das plantas espontâneas.

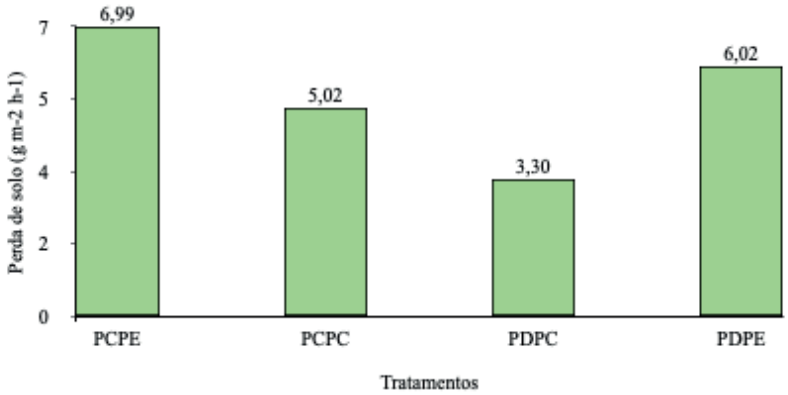


Figura 5. Perda de solo em área de produção de hortaliças sob diferentes sistemas de manejo na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. PCPE: plantio convencional com incorporação de plantas espontâneas; PCPC: plantio convencional com incorporação de plantas de cobertura; PDPC: plantio direto na palhada de plantas de cobertura; e PDPE: plantio direto na palhada das plantas espontâneas.

De acordo com Pezarico *et al.* (2013), os solos com maior densidade apresentam um aumento da resistência à penetração, e consequentemente, redução no valor da infiltração, ou seja, causam prejuízos e comprometem a qualidade física do solo, sendo também observado neste estudo, no qual, o sistema convencional apresentou maior resistência à penetração em comparação aos tratamentos do SPD, assim como na redução da infiltração acumulada e taxa de infiltração (Figura 4). Essa correlação inversa entre a RSP e a infiltração de água também foi verificada por Martins e Santos, (2017), sendo observado que quando os valores de RSP estiveram entre 2,0 a 3,0 MPa, a infiltração de água no solo ficou entre 20% a 30% sob chuva simulada de 280 mm h^{-1}, e quando a RSP foi de 0,05 MPa, a infiltração alcançou 100%. A partir dos dados obtidos, os autores concluíram que à medida que a RSP reduz, a infiltração da água aumenta. Nesse mesmo estudo, concluiu-se que a infiltração da água no solo e a RSP é influenciada pelo uso e sistema de manejo do solo, onde na área de floresta foi observada a maior infiltração e menor resistência à penetração.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo da área estudada apresenta condições físicas que favorecem a infiltração da água e baixo escoamento superficial, mesmo no sistema convencional de cultivo.

O sistema convencional com revolvimento intensivo do solo no sentido do declive das encostas degrada a estrutura do solo, eleva a densidade do solo, a resistência à penetração, reduz a infiltração, e assim eleva o escoamento superficial e as perdas de solo, quando comparado ao SPD.

O SPDH reduz a densidade do solo e a resistência à penetração, aumenta a porosidade total e a infiltração, e minimiza as perdas de solo e de água, tornando-se um sistema conservacionista de manejo dos solos agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; PEREIRA, F. A. C.; ROUWS, J. R. Sediment production and soil water infiltration under diferente simulated rainfall characteristics. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v. 23, n. 8, p. 572-578, 2019.

ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P. T. S.; MENEZES, R. S.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover no soil water ilfiltration. **Soil & Tillage Research**. p.130-138, 2018.

ALMEIDA, W. S.; SEITZ, S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F. Duration and intensity of rainfall events with the same erosivity change sediment yield and runoff rates. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 9, p. 69-75, 2021.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 617-625, 2007.

ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 337-344, 2002.

ALVES SOBRINHO, T.; GÓMEZ-MACPHERSON, H.; GÓMEZ, J. A. A portable integrated rainfall and overland flow simulator. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 163-170, 2008.

AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. Tese Doutorado. – Viçosa: UFV, 116 p. 2003.

AMUNDSON, R.; BERHE, A. A.; HOPMANS, J. W.; OLSON, C.; SZTEIN, A. E.; SPARKS, D. L. Soil and human security in the 21st century. **Soil Science**. v. 348, p. 1-6, 2015.

ANTUNES, T. G. S. P. **Influência do manejo da palhada de aveia-preta e tremoço-branco sobre a fauna invertebrada do solo em ambiente de montanha**. Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. Dissertação (mestrado em agricultura orgânica). 51 p., 2016.

AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. T. S.; SILVA, M.; TEIXEIRA, O. A. Disseminação da aveia-preta como cobertura do solo em sistemas de cultivo de hortaliças em unidades de produção familiar na região Serrana Fluminense. *In:* X Congresso da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, p. 1718-1723, 2014.

BARRADAS, C. A. A.; FREIRE, L. R.; ALMEIDA, D. L.; DE-POLLI, H. Comportamento de adubos verdes de inverno na região serrana fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1461-1468, 2001.

BERTOL, I. Conservação do solo no brasil: histórico, situação atual e o que esperar para o futuro. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. (boletim informativo 42). 48 p. 2016.

BERTOL, I.; LUCIANO, R. V.; BERTOL, C.; BAGIO, B. Nutrient and organic carbon losses, enrichment rate, and cost of water erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-15, 2017.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três tipos de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 545-552, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone. 355 p., 2012.

BOONE, F. R.; VERMEULEN, G. D.; KROESBERGEN, B. The effect of mechanical impedance and soil aeration as affected by surface loading on the growth of peas. **Soil and Tillage Research**, v. 32, p. 237-251, 1994.

BRONICK, C. B. J.; LAL, R. L. A. Soil structure and management: a review. **Geoderma** v. 124, p. 3-22, 2005.

BUBENZER, G. D.; MEYER, L. D. Simulation of rainfall and soils for laboratory research. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v. 8, n. 1, p. 73-75, 1965.

CARNEIRO, M. J.; ROCHA, B. N. R. Limites e possibilidade da construção de "territórios de desenvolvimento" na Região Serrana do Rio de Janeiro. **Política e Sociedade**, n. 14, p. 251-275, 2009.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. da; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão para diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2008.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. da; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, D. F.; EDUARDO, E. N.; ALMEIDA, W. S.; SANTOS, L. A. F.; ALVES SOBRINHO, T. Hydric erosion and water infiltration in different soil management system and corn development stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 1076-1082, 2015.

COSTA, M. A. T.; BATISTA, M. A.; MUNIZ, A. S.; SILVA, K.; SEIDEL, E. P.; FERNADES, M. Avaliação da fertilidade de um latossolo vermelho distrófico em área de mata e agrícola no cultivo inicial do milho (*Zea mays* L.). Ribeirão Preto-SP. *In:* XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** 2003.

COSTA, M. A. T.; TORMENA, C. A.; LUGÃO, S. M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G.; MEDEIROS, F. M. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 993-1004, 2012.

DANTAS, M. E. **Mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM. 63 f., 2 mapas. Executado pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Belo Horizonte. 2000.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; MARIA, I. C. Losses and costs associated with water erosion according to soil cover rate. **Bragantia**, v. 74, p. 224-33, 2015.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. D.; VIANA, J. H. M. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed., Embrapa Solos: Rio de Janeiro, RJ. Documentos 132. 230 p., 2011.

ECHER, M. M.; DALASTRA, G. M.; HACHMANN, T. L.; GUIMARÃES, V. F.; FIAMETTI, M. S. Desempenho de cultivares de berinjela em plantio direto e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 239-243, 2016.

EGGER, D. S. **Continuidades e rupturas**: transformações sócioespaciais na agricultura em Sumidouro, RJ. 2010. 85f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 485-493, 2001.

EMATER-RIO. **Acompanhamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2018. Disponível em: http://www.emater.rj.gov.br/areaTecnica/cult2018.pdf. Acesso em: 10 abr. 2022.

EMATER-RIO. **Relatório por culturas do sistema ASPA/AGROGEO** – Estado do Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: http://www.emater.rj.gov.br/images/culturacorr2020.htm. Acesso em: 10 abr. 2022.

FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. (Orgs.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ. Editora Universidade Rural, p. 257-413, 2013.

HIRATA, A. C. S.; HIRATA, E. K.; GUIMARÃES, E. C.; RÓS, A. B.; MONQUERO, P. A. Plantio direto de alface americana sobre plantas de cobertura dessecadas ou roçadas. **Bragantia**, v. 73, p. 178-183, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sidra. **Censo Agropecuário 2017**.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estados mais pobres aumentam participação no PIB em dez anos, aponta IBGE**, 2014. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/902/1/2021_CDS_180.pdf. Acesso em: 10 abr. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sidra. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/902/1/2021_CDS_180.pdf. Acesso em: 10 abr. 2022.

LOMBARDI NETO, F.; MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DECHEN, S. C. F.; VIEIRA, S. R. Efeito da quantidade de resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 71-75, 1988.

LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, p. 105-113, 2017.

MACEDO, P. M. S. M.; PINTO, M. F.; ALVES SOBRINHO, T.; SCHULTZ, N.; COUTINHO, T. A. R.; CARVALHO, D. F. A modified portable rainfall simulator for soil erosion assessment under different rainfall patterns. **Journal of Hydrology**, v. 596, p. 126052, 2021.

MARIOTI, J.; BERTOL, I.; RAMOS, J. C.; WERNER, R. S.; PADILHA, J.; BANDEIRA, D. H. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1361-1371, 2013.

MARTINS, F. P.; SANTOS, E. L. Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo. **Acta Iguazu**. Cascavel, v. 6, n. 4, p. 28-40, 2017.

MAY, A.; TIVELLI, S. W.; VARGAS, P. F.; SAMRA, A. G.; SACCONI, L. V.; PINHEIRO, M. Q. **A cultura da couve-flor**. Campinas: IAC (boletim técnico, 200). 2007.

MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. R.; PEIXOTO, J. R. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 23-28, 2010.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 901-909, 2003.

MENDES, C. A. R.; MAHLER, C. F.; ANDRADE, A. G. Erosão superficial em Argissolo Amarelo sob cultivo perene e com pousio florestal em área de relevo montanhoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1387-1396, 2011.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 56, p. 40-7, 2013.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L. N.; ANTUNES, V. L. Infiltração da água no solo. Viçosa - MG: **Engenharia na Agricultura**, 26 p. (Caderno Didático, 25), 1997.

NEVES, L. A. Nova Friburgo: Um perfil histórico-geográfico acerca do quadro socioespacial da região. **Geo UERJ Revista do Departamento de Geografia**, UERJ, RJ, v. 7, p. 77-88, 2000.

REINERT, D. J.; ALBURQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADE, M. M. C. Limite crítico de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

RIES, J. B.; SEEGER, M.; ISERLOH, T.; WISTORF, S.; FISTER, W. Calibration of simulated rainfall characteristics for the study of soil erosion of agricultural land. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 109-116, 2009.

SANTOS, H. G.; TITO-JACOMINE, P. K.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa, 356p, 2018.

SCHULTZ, N.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; RODRIGUES, G. C. S.; COSTA, E. S. P.; PEREIRA, M. G.; SOBRINHO, N. M. B. A. Produção de couve-flor em sistema plantio direto e convencional com aveia preta como planta de cobertura do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 30107-30122, 2020.

SILVA, C. F. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. revisada e ampliada, Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 627 p. 2009.

SILVA, C. G.; SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v. 25, n. 1, p. 144-153, 2005.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 399-406, 2004.

SOUZA, R. F.; FIGUEIREDO, C. C.; MADEIRA, N. R.; ALCÂNTARA, F. A. Effect of management systems and cover crops on organic matter dynamics of soil under vegetables. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 923-933, 2014.

SOUZA, R. P. O Desenvolvimento Rural no Estado do Rio de Janeiro a partir de Uma Análise Multidimensiona. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57:109-126, 2019.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de Impacto Stolf - programa computacional dedados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 774-782, 2014.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarsetextured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TAYLOR, H. M. Root behavior as affected by soil structure and strength. *In:* CARSON, E.W. (ed.) **The plant root and its environment**. Charlottesville, University of Virginia, Cap. 11, p. 28-291, 1971.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEICEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 573 p. 2017.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, p. 428-437, 2015.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: A guide to conservation planning. (Agriculture Handbook, 5). Washington, USDA, 58 p. 1978.

CAPÍTULO 11

SOLOS DE ÁREAS DE AGRICULTURA DE MONTANHA NO SUDESTE DO BRASIL: CARACTERIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E POTENCIALIDADES PARA USO AGRÍCOLA

Silver Rodrigues Zandoná
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Robert Ferreira
Estudante de Agronomia
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Leonardo Torres Barbosa
Estudande de Agronomia
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Otavio Augusto Queiroz dos Santos
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Hugo Souza Fagundes
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto
Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, RJ

Marcos Gervasio Pereira
Professor Titular do Departamento de Solos
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
BR 465 km 7, Seropédica, RJ

INTRODUÇÃO

Cerca de 25% dos solos do planeta pertencem aos ecossistemas de montanhas, que são a base econômica para o sustento de aproximadamente 12% da população mundial (ONU, 2018). São as regiões montanhosas que fornecem entre 60% e 80% da água doce do mundo, abrigam 25% da biodiversidade do planeta e 28% dos bosques do mundo, atraindo entre 15 e 20% do turismo mundial (FAO, 2018). O Brasil é apontado como o 16º país com a maior área montanhosa do planeta, e está no quarto lugar dentre os países da América Latina. Porém, pouca importância é dada a esse tema (López Netto, 2013). A exploração dessas áreas para atividades agrícolas tem ocorrido com relativo sucesso, no entanto, de forma potencialmente impactante ao ambiente (Assis *et al.*, 2019).

Além de fornecer alimentos, água, abrigo e materiais, os ecossistemas montanos têm grande importância ambiental, já que são responsáveis por diversos serviços ecossistêmicos, com destaque para a manutenção do ciclo hidrológico, influenciando na formação de nuvens, na captação de água das chuvas e no abastecimento dos lençóis freáticos. Também apresentam grande variabilidade no que diz respeito à topografia, clima e solo; o que influencia diretamente a biodiversidade existente, tanto na riqueza de espécies da fauna e flora quanto de espécies endêmicas (López Netto *et al.*, 2011; Martinelli, 2007).

Os solos declivosos de ambientes montanhosos podem ser degradados com maior facilidade quando o manejo é inadequado. Quando as precipitações são intensas e a cobertura vegetal não é adequada, a matéria orgânica, o solo (Wang *et al.*, 2016), água e nutrientes, podem se perder por erosão e causar significativos danos ambientais. Quando no solo observa-se algum tipo de cobertura vegetal, a energia cinética do impacto das gotas de água é reduzida, bem como a velocidade do escoamento superficial (Teixeira; Misra, 1997). Dessa forma, verifica-se a redução dos danos listados anteriormente quando a cobertura do solo não atua como fator protetor desses processos (Dechen *et al.*, 2015). A proteção do solo contra os processos erosivos está diretamente relacionada com a cobertura vegetal, ou seja, quanto mais a superfície do solo estiver protegida pela vegetação, menor será a destruição dos agregados, individualização das partículas e consequentemente a erosão (Bezerra; Cantalice, 2006).

Contudo, manejar solos de regiões montanhosas continua sendo um desafio para as comunidades que ocupam esses locais. A exploração dessas áreas para atividades agrícolas tem ocorrido com relativo sucesso, no entanto, de forma potencialmente impactante ao ambiente (Assis *et al.*, 2019). A declividade, fatores pedológicos e ambientais, característicos desses ambientes, além de dificultarem a adoção de práticas de cultivo, prejudicam a aplicação de técnicas conservacionistas.

Na região sudeste do Brasil, grande parte dos solos de áreas montanhosas são utilizados para agricultura. Nesses locais com acentuada declividade, os solos estão propensos à degradação causada por atividade humana e por efeitos ambientais. Portanto, são requeridas espécies vegetais aptas e práticas de manejo adequadas, para reduzir a exposição da superfície, reduzindo os riscos de degradação. Portanto, é necessário a aquisição de maiores informações sobre as propriedades dos solos desses ambientes. A partir do exposto, o estudo teve como objetivos: i) realizar a caraterização química, física e morfológica dos atributos do solo de perfis coletados em áreas com diferentes cultivos agrícolas e coberturas vegetais; ii) verificar as principais classes de solos dessas áreas; e iii) avaliar a capacidade de uso agrícola, bem como as classes de aptidão e as principais limitações.

MATERIAL E MÉTODOS

Características ambientais da região do estudo

O estudo foi realizado no município de Ibiraçu (19°47'49.3"S 40°27'10.5"W), localizado no estado do Espírito Santo, região sudeste do Brasil. As áreas amostradas estão inseridas na propriedade agrícola Sítio Zandoná, com aproximadamente 67 ha. O município é cortado pela rodovia BR 101, que é a principal via de escoamento da produção agrícola do estado. A rodovia é o caminho mais rápido para o transporte de produtos perecíveis (p. ex., frutas e hortaliças) até os maiores centros de distribuição e mercados consumidores da região sudeste do país (p. ex., Vitória, Rio de Janeiro e São Paulo).

O clima local engloba duas classificações, a saber: i) Tropical úmido ou subúmido (Am), predominante nas áreas onde ocorre o relevo de Tabuleiros, apresentando uma estação seca de pequena duração que é compensada pelos totais elevados de precipitação entre 1.200 e 1.300 mm; e ii) Tropical chuvoso (Aw) com estação seca no inverno, que é comum das áreas com relevo acidentado do contorno de vales e planaltos, em altitudes de até 500 m, onde a precipitação ocorre em intensidade de 1.000 a 1.400 mm (Alvares *et al.*, 2014; Köppen, 1928).

A topografia abrange áreas ligeiramente onduladas da Região de Tabuleiros, se estendendo por uma região onde predomina uma paisagem intermediária de Mar de Morros (encostas com declividade superior a 20% e relevo forte-ondulado), e se prolonga até alcançar a Região Elevada Interior da Serra do Castelo (ou Serra Capixaba); a vegetação natural predominante está inserida no bioma Mata Atlântica, cuja vegetação original denomina-se Floresta Ombrófila Densa (Garbin *et al.*, 2017); o principal material de origem é o paragnaisse, rocha de granulação média a grossa, cor cinza azulado e caráter ácido (solos com baixa fertilidade natural) (Gradim *et al.*, 2014).

Áreas avaliadas

Foram avaliadas quatro áreas com diferentes coberturas vegetais em três pontos diferentes da propriedade. Para a escolha e delimitação dos pontos amostrados (repetições de área), utilizou-se características semelhantes, como o tempo de cultivo e a similaridade em relação às culturas presentes. As coberturas vegetais avaliadas foram: áreas de cultivo com banana (*Musa* spp.) (BN); áreas de cultivo de café (*Coffea* sp.) (CF); áreas de cultivo com cacau (*Theobroma cacao* L.) (CC); e áreas de fragmentos floresta secundária do bioma Mata Atlântica sem índices de ação antrópica (FS). Totalizando 12 áreas amostrais (quatro coberturas vegetais no solo × três repetições de área) (Tabela 1).

Coleta dos perfis

A coleta foi realizada em dezembro de 2020, e em cada área amostral foi demarcada uma gleba de 1.000 m^2 respeitando dois critérios gerais previamente estabelecidos, a saber: i) Tamanho – a área amostral deveria apresentar área contínua suficiente para abrigar uma gleba preferencialmente de 40 × 25 m, e com distância mínima de 15 m das próprias bordas para evitar a influência dos efeitos de borda; e ii) Possibilidade de coleta – considerando a inexistência de impedimentos geológicos, como excessiva declividade e pedregosidade, que limitariam a escavação manual para a coleta das amostras de terra. Após demarcação, foi aberto um perfil de solo de 0-100 cm de profundidade, perfazendo um total de 12 perfis (Tabela 2). A descrição morfológica dos perfis e a coleta das amostras deformadas dos horizontes foram realizadas no campo de acordo com Santos ***et al.*** (2015).

Tabela 1. Descrição, localização e critérios específicos utilizados para escolha das áreas amostrais, sudeste do Brasil

Área	Perfil	Localização e descrição	Critérios específicos
BN	P08	Banana prata. Manejo convencional, com capina química. Calagem e fertilização mineral sob recomendação. Desbrota anual. Sem mecanização do plantio à colheita	Manejo de condução da lavoura de banana por um tempo mínimo de 25 anos
	P11	Banana prata. Manejo convencional, com capina química. Calagem e fertilização mineral sob recomendação. Desbrota anual. Sem mecanização do plantio à colheita	
	P10	Banana prata. Manejo convencional, com capina química. Calagem e fertilização mineral sob recomendação. Desbrota anual. Sem mecanização do plantio à colheita	
CC	P02	Cacau. Manejo convencional, com capina química. Calagem e fertilização mineral sob recomendação. Poda anual. Sem mecanização do plantio à colheita	Manejo de condução da lavoura de cacau por um tempo mínimo de 8 anos; e cultura precedente na área de cultivo sendo a banana
	P12	Cacau. Manejo convencional, com capina química. Calagem e fertilização mineral sob recomendação. Poda anual. Sem mecanização do plantio à colheita	
	P03	Cacau. Manejo convencional, com capina química. Calagem e fertilização mineral sob recomendação. Poda anual. Sem mecanização do plantio à colheita	
CF	P01	Café conilon. Manejo convencional, com capina química. Calagem e fertilização mineral sob recomendação. Poda e desbrota anuais. Sem mecanização do plantio à colheita	Manejo de condução da lavoura de café por um tempo mínimo de 30 anos
	P04	Café conilon. Manejo convencional, com capina química. Calagem e fertilização mineral sob recomendação. Poda e desbrota anuais. Sem mecanização do plantio à colheita	
	P09	Café conilon. Manejo convencional, com capina química. Calagem e fertilização mineral sob recomendação. Poda e desbrota anuais. Sem mecanização do plantio à colheita	
FS	P07	Espécies florestais nativas da Mata Atlântica	Ausência de histórico de desmatamento nos últimos 50 anos
	P06	Espécies florestais nativas da Mata Atlântica	
	P05	Espécies florestais nativas da Mata Atlântica	

BN: Área de cultivo de banana; CC: Área de cultivo de cacau; CF: Área de cultivo de café; e FS: Área de floresta secundária do bioma Mata Atlântica.

Classificação dos solos e aptidão agrícola das terras

As amostras de terra dos horizontes foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2,0 mm de diâmetro de malha para obter a fração terra fina seca ao ar (TFSA). A caracterização dos atributos químicos foi feita a partir da TFSA, e foram determinados os valores de pH e os teores de Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, K^{+}, Na^{+}, P e H+Al. A partir dos resultados, foram calculados os valores do complexo sortivo do solo: soma de bases trocáveis (S); capacidade de troca catiônica do solo a pH 7,0 (T); e saturação por bases (V) (Teixeira *et al.*, 2017).

O carbono orgânico total (COT) do solo foi determinado via oxidação úmida da matéria orgânica do solo por dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) na concentração de 0,167 mol L^{-1}, em meio sulfúrico e quantificado por titulação usando solução de sulfato ferroso amoniacal ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \times 6H_2O$) 0,2 mol L^{-1} como titulante e ferroin como indicador (Yeomans; Bremner, 1988). A análise granulométrica foi realizada utilizando o método da pipeta, quantificando assim o conteúdo das frações areia, silte e argila (Teixeira *et al.*, 2017). Com base nos atributos morfológicos, químicos e físicos, os perfis foram classificados (Santos *et al.*, 2018) e avaliados quanto ao seu potencial de uso agrícola (Ramalho Filho; Beek, 1995).

Tratamento estatístico dos dados

Os perfis foram avaliados completos, e as variáveis pH, argila, carbono orgânico total, cálcio e magnésio trocáveis, alumínio trocável, soma de bases, potássio trocável e fósforo disponível foram selecionadas. Essas foram analisadas utilizando o pacote "AQP" (*Algorithm for Quantitative Pedology*) e sua função "SCP" (*Soil Profile Collection*) que gerou esboços gráficos dos perfis com base em seus limites de horizontes através do Software R (R Core Team, 2020). A partir dos dados de todas as variáveis físicas, químicas e morfológicas, os perfis foram classificados até o quarto nível categórico. Complementarmente, realizou-se a aptidão agrícola das terras das áreas através dos dados de cada perfil.

Tabela 2. Informações gerais dos perfis de solos nas áreas com diferentes coberturas vegetais, sudeste do Brasil

Perfil	Coord	Situação paisagem	Relevo local	Material de origem	Vegetação atual	Alt. (m)	Dec. %	Drenagem	Pedregosidade e rochosidade
P01	19°48'08.1"S 40°27'33.3"W	Topo de elevação	Forte-Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	CF	335	20 a 45	Bem drenado	Ligeiramente pedregosa e moderadamente rochosa
P02	19°48'04.1"S 40°27'24.9"W	Terço superior	Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	CC	299	13 a 20	Bem drenado	Moderadamente pedregosa e moderadamente rochosa
P03	19°48'04.2"S 40°27'23.5"W	Terço superior	Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	CC	289	13 a 20	Bem drenado	Ligeiramente pedregosa e moderadamente rochosa
P04	19°47'58.0"S 40°27'18.0"W	Terço superior	Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	CF	276	13 a 20	Bem drenado	Ligeiramente pedregosa e moderadamente rochosa
P05	19°47'35.2"S 40°27'15.5"W	Topo de elevação	Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	FS	331	13 a 20	Bem drenado	Moderadamente pedregosa e moderadamente rochosa
P06	19°47'42.1"S 40°27'14.6"W	Terço superior	Forte-Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	FS	286	20 a 45	Bem drenado	Pedregosa e moderadamente rochosa
P07	19°47'59.9"S 40°27'17.7"W	Terço superior	Forte-Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	FS	272	20 a 45	Bem drenado	Moderadamente pedregosa e moderadamente rochosa
P08	19°47'57.3"S 40°27'20.9"W.	Terço superior	Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	BN	294	13 a 20	Bem drenado	Moderadamente pedregosa e moderadamente rochosa
P09	19°47'47.4"S 40°27'21.6"W	Topo de elevação	Forte-Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	CF	341	20 a 45	Bem drenado	Ligeiramente pedregosa e moderadamente rochosa
P10	19°47'56.2"S 40°27'23.4"W	Topo de elevação	Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	BN	371	13 a 20	Bem drenado	Moderadamente pedregosa e moderadamente rochosa
P11	19°47'50.9"S 40°27'22.5"W	Topo de elevação	Forte-Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	BN	330	20 a 45	Moderadamente drenado	Moderadamente pedregosa e moderadamente rochosa
P12	19°47'54.1"S 40°27'20.0"W	Terço superior	Ondulado	Produto da intemperização de paragnaisse	CC	296	13 a 20	Bem drenado	Moderadamente pedregosa e moderadamente rochosa

Coord.: Coordenadas; Alt.: Altitude; Dec.: Declividade; BN: Área de cultivo de banana; CC: Área de cultivo de cacau; CF: Área de cultivo de café; e FS: Área de floresta secundária do bioma Mata Atlântica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos atributos morfológicos e textura

Na Figura 1 são apresentadas as fotos dos perfis coletados. Houve predomínio dos matizes 7,5YR e 10 YR em quase todos os horizontes. À exceção dos horizontes AB, BA, Bi1 e Bi2 do perfil FS-P05 com matiz 5YR. A amplitude de variação das cores nos horizontes superficiais foi de bruno escuro a bruno amarelado escuro, resultante da combinação de matéria orgânica do solo humificada e textura mais arenosa, principalmente nas áreas de BN (Tabela 3). Em subsuperfície, prevaleceu a cor amarelo avermelhado nos seus horizontes. Oriunda da combinação do material de origem de natureza mais ácida (paragnaisse), fator clima e condições de boa drenagem, sendo exceção o perfil BN-P11 moderadamente drenado (Tabela 2). Não foi observada a presença de mosqueado de redução nos horizontes subsuperficiais (Tabela 3).

Quanto à estrutura do solo, as formas em blocos angulares e subangulares predominaram, com tamanho e grau de desenvolvimento variável de pequena a grande e fraca a forte em ambos os horizontes (Tabela 3). Evidenciando-se a grande variabilidade estrutural que esses solos apresentam. Na avaliação da consistência, nos três estados de umidade, verificou-se variação de ligeiramente dura a dura quando seco; muito friável a firme quando úmido; e ligeiramente plástica a plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada (Tabela 3). Não foi constatada a ocorrência de cerosidade nos horizontes subsuperficiais (Tabela 3).

Em relação ao grau de distinção e topografia das transições, observou-se maior ocorrência para clara e plana entre os horizontes superficiais; e gradual e ondulada entre os horizontes subsuperficiais (Tabela 3). As principais classes texturais constatadas foram franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa nos horizontes superficiais e subsuperficiais, respectivamente. A classe textural argila foi verificada somente nos horizontes subsuperficiais Bi1 e Bi2 em CF-P01, BA, Bi1 e Bi2 em FS-P05 e Bi2 em CF-P09 (Tabela 3).

O material de origem das áreas do estudo é o produto da intemperização do paragnaisse (Tabela 2), rocha de granulação média a grossa, cor cinza azulado e caráter ácido (Gradim *et al.*, 2014). Tendo como principais minerais em sua composição o quartzo (50%), feldspatos (40%) e biotita (10%) (Steinhoefel *et al.*, 2011). Que sob intensa ação do intemperismo químico pode originar solos de textura média a argiloarenosa.

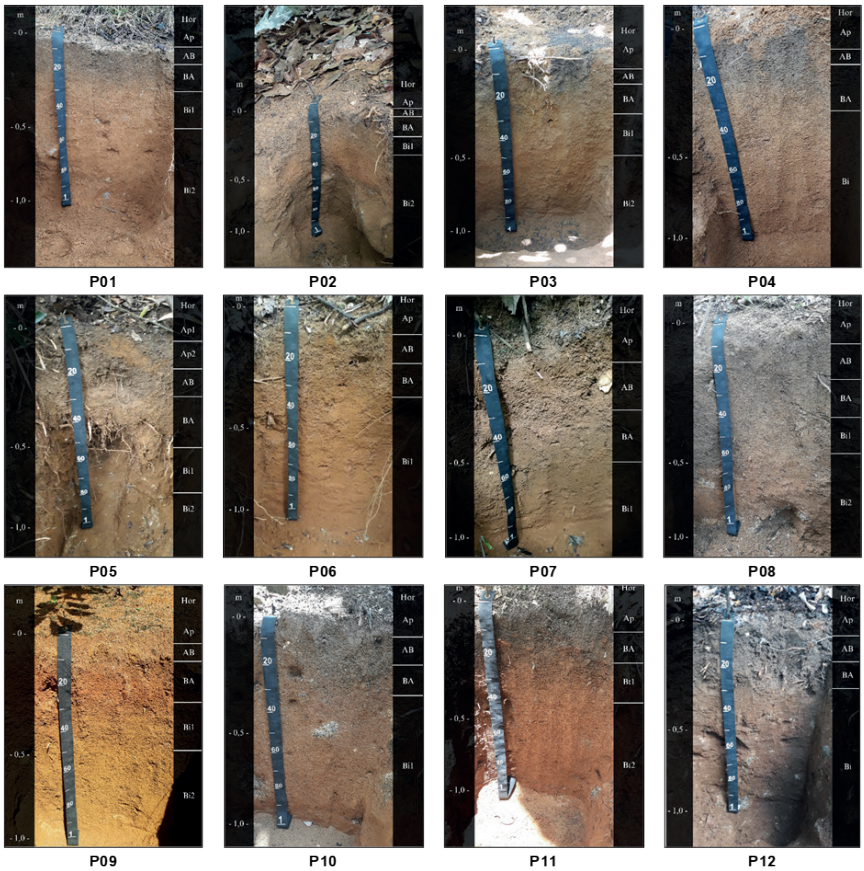


Figura 1. Perfis de solo nas áreas com diferentes coberturas vegetais, sudeste do Brasil. P01, P04 e P09: Perfis das áreas cultivadas com café; P02, P03 e P12: Perfis das áreas cultivadas com cacau; P05, P06 e P07: Perfis das áreas de floresta secundária do bioma Mata Atlântica; e P08, P10 e P11: Perfis das áreas cultivadas com banana.

Tabela 3. Distribuição dos horizontes e atributos morfológicos e textura dos perfis de solos nas áreas com diferentes coberturas vegetais, sudeste do Brasil

Perfil	Hor	Prof (cm)	Cor		Estrutura[1]	Consistência[2]	Transição	Classe textural
			Seca	Seca				
CF-P01	Ap	00–10	10YR 5/3	10YR 3/4	ba, bsa, pq, me, mo e fr	ld, mf, lp e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	AB	10–19	10YR 5/2	10YR 4/3	ba, bsa, pq, me, mo e fr	ld, mf, lp e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	BA	19–32	---	7,5YR 5/6	ba, me, gr e mo	du, mf, lp e lpe	Gradual e plana	Argilo-arenosa
	Bi1	32–55	---	7,5YR 5/6	ba, me, gr e mo	du, mf, lp e lpe	Difusa e plana	Argila
	Bi2	55–100+	---	7,5YR 5/6	ba, me, gr e mo	ld, fr, lp e lpe	---	Argila
CC-P02	Ap	00–06	7,5YR 5/3	7,5YR 4/3	ba, pq, me e fr	du, fi, lp e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	AB	06–14	7,5YR 5/3	7,5YR 4/4	ba, bsa, pq, me e fr	du, fr, pl e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	BA	14–21	---	7,5YR 5/4	ba, pq, me e mo	ld, mf, lp e lpe	Difusa e ondulada	Argilo-arenosa
	Bi1	21–35	---	7,5YR 5/6	ba, pq, me e fr	du, mf, pl e lpe	Difusa e ondulada	Argilo-arenosa
	Bi2	35–100+	---	10YR 6/4	ba, pq, me e mo	ld, mf, np e lpe	---	Franco-argiloarenosa
CC-P03	Ap	00–08	7,5YR 4/3	10YR 3/3	ba, pq, me e fo	du, fi, np e lpe	Clara e plana	Argilo-arenosa
	AB	08–16	10YR 5/4	10YR 4/2	ba, pq, me e mo	du, fr, lp e lpe	Clara e plana	Argilo-arenosa
	BA	16–27	---	7,5YR 5/6	ba, bsa, me, gr e mo	du, fr, lp e lpe	Gradual e plana	Argilo-arenosa
	Bi1	27–49	---	7,5YR 5/8	ba, bsa, me, gr e fr	ld, mf, pl e lpe	Gradual e plana	Argilo-arenosa
	Bi2	49–100+	---	7,5YR 6/8	ba, pq, me e mo	ld, mf, pl e lpe	---	Argilo-arenosa

CF-P04	Ap	00–10	10YR 5/4	10YR 3/4	ba, pq, me e mo	ld, fr, lp e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	AB	10–16	7,5YR 5/4	7,5YR 4/4	ba, pq, me e mo	ld, mf, lp e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	BA	16–30	---	7,5YR 5/6	ba, pq, me e fr	ld, mf, pl e lpe	Gradual e plana	Argilo-arenosa
	Bi	30–100+	---	7,5YR 6/6	ba, pq, me e fr	ld, mf, pl e lpe	---	Argilo-arenosa
FS-P05	A1	00–08	7,5YR 4/4	7,5YR 3/4	ba, mpq, pq e fo	ld, fr, lp e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	A2	08–18	7,5YR 4/4	7,5YR 3/4	ba, mpq, pq e fo	du, fi, lp e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	AB	18–30	---	5YR 5/4	ba, mpq, pq e mo	du, fi, lp e lpe	Gradual e plana	Argilo-arenosa
	BA	30–55	---	5YR 5/6	ba, pq, me e mo	ld, fi, pl e lpe	Gradual e ondulada	Argila
	Bi1	55–80	---	5YR 6/6	ba, pq, me e fr	ld, mf, lp e lpe	Gradual e ondulada	Argila
	Bi2	80–100+	---	5YR 6/6	ba, pq, me e fr	ld, mf, lp e lpe	---	Argila
FS-P06	A	00–10	10YR 4/4	10YR 3/3	ba, pq, me e fo	du, fi, pl e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	AB	10–23	10YR 5/4	10YR 4/4	ba, pq, me e mo	ld, fr, pl e lpe	Clara e plana	Argilo-arenosa
	BA	23–36	---	10YR 5/4	ba, pq, me e fo	du, fi, lp e lpe	Gradual e plana	Franco-argilo-arenosa
	Bi1	36–100+	---	10YR 4/4	ba, pq, me e mo	du, fr, lp e lpe	---	Argilo-arenosa
FS-P07	A	00–10	10YR 4/6	10YR 4/4	ba, pq, me e mo	ld, mf, lp e lpe	Clara e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	AB	10–27	10YR 6/6	10YR 4/6	ba, me, gr e fo	ld, fr, lp e lpe	Gradual e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	BA	27–53	---	10YR 6/6	ba, pq, me e mo	du, fi, lp e lpe	Difusa e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	Bi	53–100+	---	10YR 5/4	ba, me, gr e fo	md, mf, lp e lpe	---	Argilo-arenosa

BN-P08	Ap	00–10	10YR 5/4	10YR 3/3	ba, me, gr e fo	ld, mf, lp e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	AB	10–24	10YR 5/4	10YR 4/3	ba, me, gr e fo	du, fr, lp e lpe	Clara e plana	Franco-argilo-arenosa
	BA	24–40	---	10YR 5/4	ba, pq, me e fo	md, fi, lp e lpe	Gradual e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	Bi1	40–60	---	10YR 6/4	ba, pq, me e fo	du, fr, pl e lpe	Gradual e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	Bi2	60–100+	---	10YR 6/6	ba, me, gr e mo	md, mf, pl e lpe	---	Argilo-arenosa
CF-P09	Ap	00–05	7,5YR 5/6	7,5YR 4/4	ba, bsa, pq e fr	ld, fr, pl e lpe	Abrupta e plana	Franco-argilo-arenosa
	AB	05–13	7,5YR 5/6	7,5YR 4/6	ba, bsa, pq e fr	ld, fr, lp e lpe	Clara e plana	Argilo-arenosa
	BA	13–28	---	7,5YR 4/6	ba, pq, me e fo	du, fr, pl e lpe	Gradual e plana	Argilo-arenosa
	Bi1	28–53	---	7,5YR 5/6	ba, pq e fr	ld, fr, mp e pe	Gradual e plana	Argilo-arenosa
	Bi2	53–100+	---	10YR 5/8	ba, pq e fr	ld, mf, mp e lpe	---	Argila
BN-P10	Ap	00–11	10YR 5/3	10YR 4/2	ba, me, gr e mo	du, fr, pl e lpe	Clara e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	AB	11–23	10YR 5/3	10YR 4/2	ba, me, gr e mo	du, fr, pl e lpe	Clara e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	BA	23–35	---	10YR 5/6	ba, me, gr e fo	du, mf, pl e lpe	Gradual e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	Bi	35–100+	---	10YR 5/8	ba, me, gr e mo	ld, mf, pl e lpe	---	Franco-argilo-siltosa
BN-P11	Ap	00–12	10YR 5/3	10YR 3/2	ba, me, gr e mo	ld, mf, lp e lpe	Clara e plana	Franco-arenosa
	BA	12–24	10YR 4/6	10YR 3/6	ba, me, gr e fo	du, fi, lp e lpe	Gradual e plana	Franco-argilo-arenosa
	Bt1	24–42	---	7,5YR 5/6	ba, me, gr e mo	du, mf, lp e lpe	Gradual e plana	Argilo-arenosa
	Bt2	42–100+	---	7,5YR 5/6	ba, me, gr e mo	ld, mf, lp e lpe	---	Argilo-arenosa

CC-P12	Ap	00–09	10YR 5/2	10YR 4/2	ba, pq e fo	du, fi, pl e lpe	Clara e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	AB	09–17	10YR 5/2	10YR 4/3	ba, pq e fo	du, mf, pl e lpe	Clara e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	BA	17–30	---	10YR 5/4	ba, me, gr e fo	du, mf, pl e lpe	Gradual e ondulada	Franco-argilo-arenosa
	Bi	30–100+	---	10YR 6/4	ba, me, gr e mo	du, mf, pl e lpe	---	Franco-argilo-arenosa

Hor: Horizonte; Prof: Profundidade; (1)fr: Fraca; (1)mo: Moderada; (1)fo: Forte; (1)mpq: Muito pequena; (1)pq: Pequena; (1)me: Média; (1)gr: Grande; (1)ba: Blocos angulares; (1) bsa: Blocos subangulares; (1)gr: Granular; (2)so: Solta; (2)ma: Macia; (2)ld: Ligeiramente dura; (2)du: Dura; (2)md: Muito dura; (2)ed: Extremamente dura; (2)mf: Muito friável; (2)fr: Friável; (2)fi: Firme; (2)mf: Muito firme; (2)ef: extremamente firme; (2)np: Não plástica; (2)lp: Ligeiramente plástica; (2)pl: Plástica; (2)mp: Muito plástica; (2)npe: Não pegajosa; (2)lpe: Ligeiramente pegajosa; (2)pe: Pegajosa; e (2)mpe: Muito pegajosa.

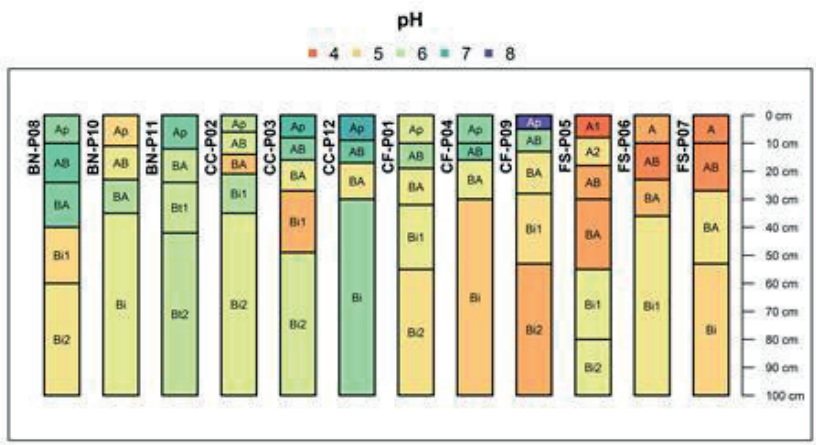
Caracterização dos atributos químicos e físicos

Os valores de pH (Figura 2a) variaram de 4,5–7,5. Nos horizontes A e AB dos perfis da área de FS foram quantificados os menores valores de pH (< 5,0), exceto em A2 de FS-P05 (5,4). Em Ap e AB dos perfis das áreas cultivadas, os valores de pH foram superiores a 5,34, com destaque para os horizontes dos perfis da área de CF com valores acima de 6,0. Os valores de pH desses horizontes estão próximos ou dentro da faixa ideal (5,5–6,3) para o desenvolvimento das culturas brasileiras (Freire *et al.*, 2013; Sousa *et al.*, 2007) principalmente na "camada arável". De maneira geral, foi observada uma pequena redução dos valores de pH em subsuperfície. Exceto nos perfis da área de FS em que o padrão de distribuição dos valores do atributo foi inverso, menor em superfície e maior em subsuperfície. Nos horizontes Bi, Bt e BA verificaram-se valores de pH entre 5,05–6,2 para CC; 5,0–5,62 para CF; e 5,34–6,33 para BN (Figura 2a).

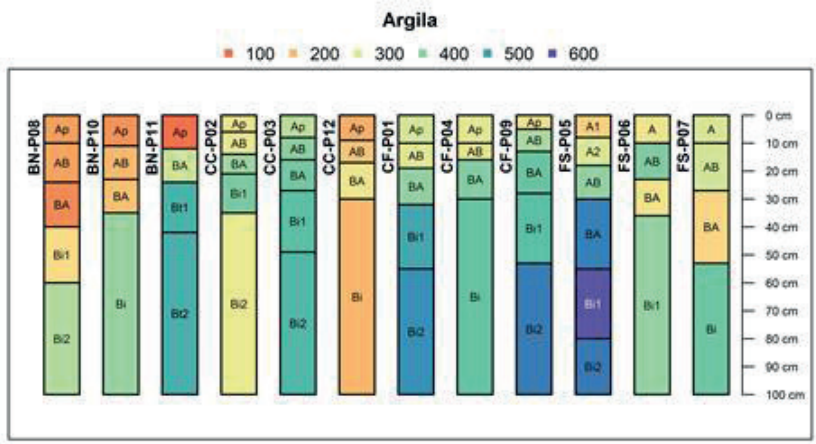
Para os teores de argila foram verificados valores entre 150–550 g kg^{-1}. Os menores teores foram verificados nos horizontes Ap, AB e BA dos perfis localizados nas áreas de BN (177–202 g kg^{-1}), exceto no horizonte BA de BN-P11 (345 g kg^{-1}). Os maiores teores de argila foram observados nos horizontes BA, Bi1 e Bi2 de FS-P05 (495–540 g kg^{-1}), e no horizonte Bi2 de CF-P09 (500 g kg^{-1}). Com base na Figura 2b, é possível observar que os maiores teores de argila concentram-se nos horizontes subsuperficiais em todas as áreas. À exceção de CC-P12, na qual no horizonte Bi foi verificado valores relativamente baixos de argila (244 g kg^{-1}) (Figura 2b).

No perfil CC-P02 foi verificado padrão diferenciado na distribuição dos teores de argila quando comparado aos demais, com teores mais elevados nos horizontes superficiais (Ap, 298; e AB, 310 g kg^{-1}) e mais baixos nos subsuperficiais (BA, 385; e Bi1, 410 g kg^{-1}). Os teores do atributo verificados na sequência Ap, BA, Bt1 e Bt2 em BN-P11 apontam acúmulo de argila em subsuperfície, caracterizado pela presença de mudança textural abrupta (Figura 2b). Esse atributo diagnóstico é favorecido na área de BN-P11 pela topografia mais acentuada (relevo local forte-ondulado; Tabela 2) juntamente ao clima tropical chuvoso da região, colaborando para o arraste das partículas mais finas pela água e o aumento relativo do conteúdo de argila em profundidade.

(a)



(b)



(c)

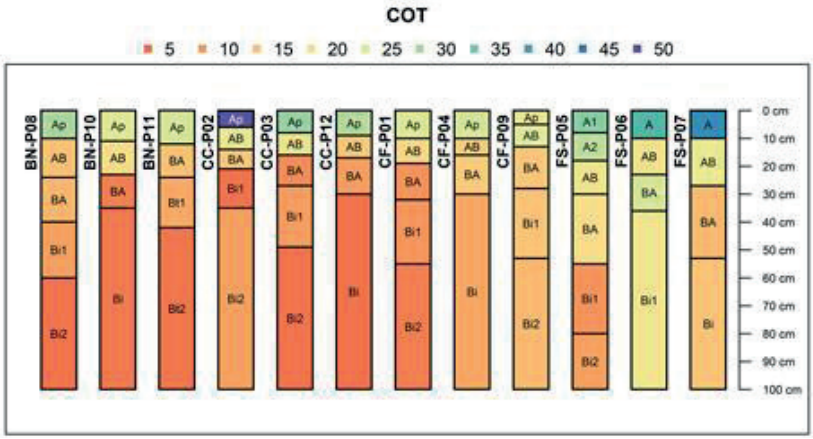


Figura 2. Valores de acidez ativa (pH), argila (g kg^{-1}) e carbono orgânico total (COT, g kg^{-1}) nos horizontes dos perfis nas áreas com diferentes coberturas vegetais, sudeste do Brasil. pH em H_2O (a); argila (b); e COT (c). BN: Área de cultivo de banana; CC: Área de cultivo de cacau; CF: Área de cultivo de café; e FS: Área de floresta secundária do bioma Mata Atlântica.

Os teores de carbono orgânico total (COT) variaram dentro da faixa de 5,0–50,0 g kg^{-1}, indicando que todos os horizontes são de constituição mineral. Os maiores teores oscilaram entre 35,6–46,1 g kg^{-1}, sendo verificados nos horizontes A e A1 dos perfis das áreas de FS, e no horizonte Ap dos perfis das áreas de CC. Os menores valores de COT foram quantificados nos horizontes subsuperficiais dos perfis das áreas cultivadas, sendo os valores mínimos (5,80 g kg^{-1}) no horizonte Bi de CC-P12. Nos perfis das áreas de FS e no perfil CF-P09 os teores de COT em subsuperfície não foram tão baixos quando os quantificados nas demais áreas cultivadas (Figura 2c).

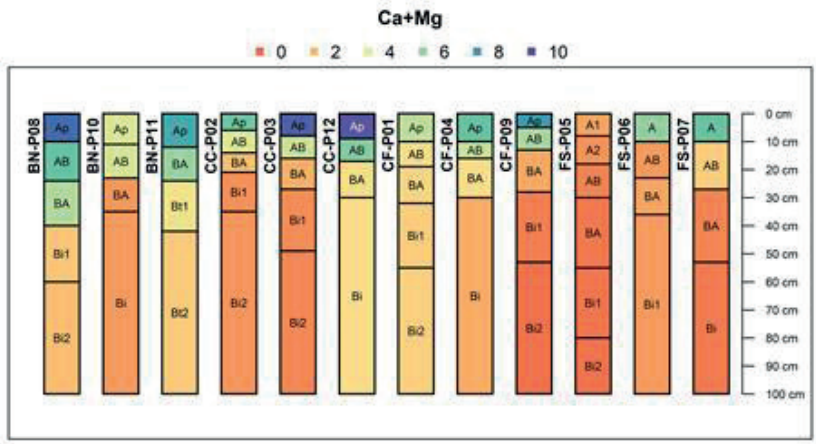
Os teores de cálcio e magnésio trocáveis (Ca+Mg) variaram entre 0,0–9,0 $cmol_c$ dm^{-3}, com elevados valores no horizonte Ap dos perfis BN-P08, CC-P03 e CC-P12 (7,85–8,40 $cmol_c$ dm^{-3}), sendo exceção a esse padrão os perfis BN-P10, CF-P01 e FS-P05. No horizonte Ap desses perfis foram quantificados teores de Ca+Mg entorno de 5,0 $cmol_c$ dm^{-3}. Os valores mais baixos foram verificados nos horizontes subsuperficiais de CF-P09 e FS-P05 (0,2–0,35 $cmol_c$ dm^{-3}). No perfil FS-P05 foram quantificados baixos e decrescentes teores desses elementos em profundidade, valores variando de 1,3 $cmol_c$ dm^{-3} no horizonte A1 e 0,25 $cmol_c$ dm^{-3} no horizonte Bi2 (Figura 3a).

Nos horizontes Ap, AB e BA foram observados teores de Ca+Mg de 1,05–7,85 nos perfis das áreas de BN; 0,7–8,4 nas áreas de CC; e 0,2–6,8 $cmol_c$ dm^{-3} nas áreas de CF. Segundo Freire ***et al.*** (2013), para as culturas de banana e café os valores ideais desses nutrientes no solo são superiores a 3,0 $cmol_c$ dm^{-3}. Ressalta-se ainda que nos horizontes superficiais foram quantificados os maiores teores de Ca+Mg,

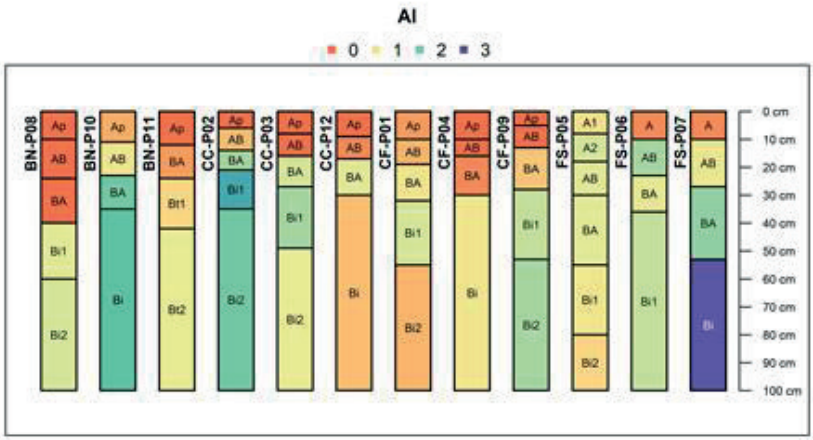
com decréscimo em profundidade. Nas áreas com cultivos agrícolas é possível observar que os maiores teores dos nutrientes concentram-se nos primeiros 20 cm de profundidade. Enquanto nas áreas com cobertura florestal os maiores teores foram constatados nos primeiros 10 cm de profundidade (Figura 3a).

Os teores de alumínio trocável (Al) variaram de 0,0 a 2,5 $cmol_c\ dm^{-3}$. Nos horizontes Ap das áreas cultivadas foram verificados os menores teores (0,0 a 0,3 $cmol_c\ dm^{-3}$). Os valores de Al estão fora do limite mínimo (0,3 $cmol_c\ dm^{-3}$) considerado como concentração tóxica para a maioria das plantas cultivadas (Sousa *et al.*, 2007; Freire *et al.*, 2013). Nas áreas de FS, para esse mesmo horizonte, verificou-se teores entre 0,15–0,65 $cmol_c\ dm^{-3}$. Os maiores valores de Al foram observados nos horizontes Bi e Bi1 de BN-P10, CC-P02 e FS-P07 (1,6–2,25 $cmol_c\ dm^{-3}$). No perfil FS-P05 foram quantificados valores de Al entre 0,6–1,0 $cmol_c\ dm^{-3}$ ao longo de todo o perfil. Nos horizontes Ap, AB e BA dos perfis das áreas de BN, CC e CF foram constatados teores entre 0,0–1,60; 0,0–1,75; e 0,0–1,25 $cmol_c\ dm^{-3}$, respectivamente (Figura 3b).

(a)



(b)



(c)

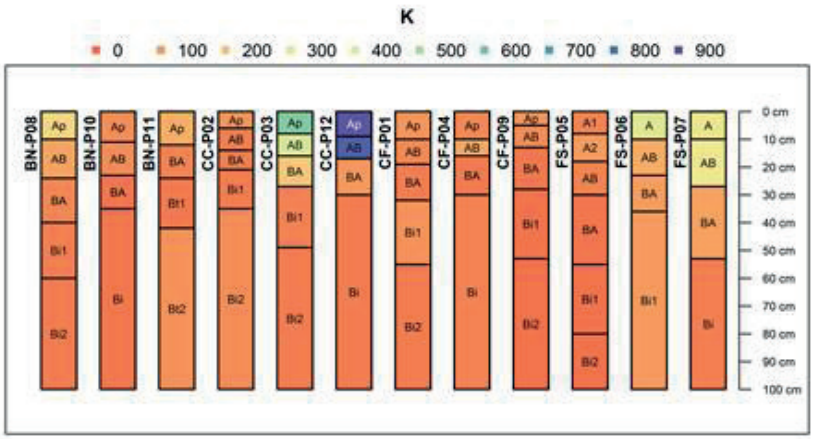


Figura 3. Valores de cálcio e magnésio trocáveis (Ca+Mg, $cmol_c\ dm^{-3}$), alumínio trocável (Al, $cmol_c\ dm^{-3}$) e potássio trocável (K, $mg\ dm^{-3}$) nos horizontes dos perfis nas áreas com diferentes coberturas vegetais, sudeste do Brasil. Ca+Mg (a); Al (b); e K (c). BN: Área de cultivo de banana; CC: Área de cultivo de cacau; CF: Área de cultivo de café; e FS: Área de floresta secundária do bioma Mata Atlântica.

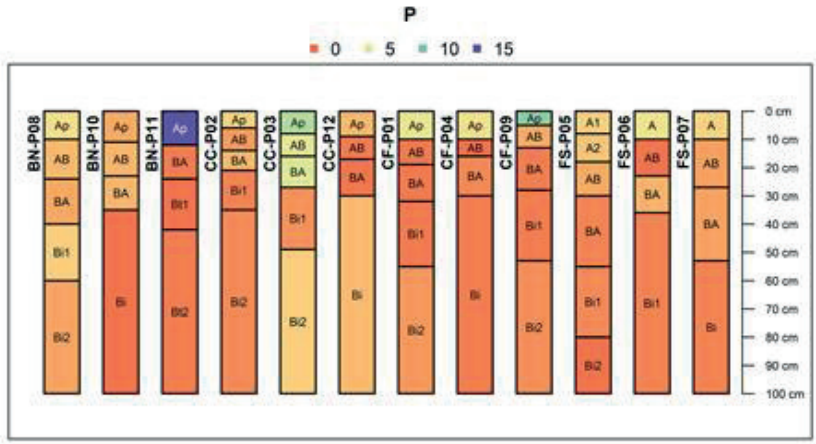
Os teores de potássio trocável (K) variaram entre 0 a 900 mg dm^{-3}. Os maiores valores foram verificados nos horizontes Ap e AB dos perfis das áreas de CC (837 a 811 mg dm^{-3}). Valores intermediários foram observados nos horizontes Ap, AB e BA de BN-P08 e CC-P03, e A, AB e BA de FS-P06 e FS-P07 (202 a 537 mg dm^{-3}). Nos perfis das áreas de CF verificam-se baixos teores de K em superfície e subsuperfície, variando de 14 a 130 mg dm^{-3}. Nos horizontes Ap, AB e BA dos perfis das áreas de BN, CC e CF foi observada uma ampla variação para os valores de K, entre 24 a 235; 45 a 837; e 29 a 130 mg dm^{-3}, respectivamente (Figura 3c). Conforme Freire ***et al.*** (2013), para a cultura da banana os teores ideais desse nutriente no solo são de ± 135 mg dm^{-3}. Já para o café os teores recomendados do nutriente no solo são de ± 90 mg dm^{-3}.

Os maiores teores de fósforo disponível (P) foram verificados no horizonte Ap de BN-P11 (14,50 mg dm^{-3}). Valores intermediários (7,73–8,90 mg dm^{-3}) foram quantificados no horizonte Ap de CC-P03 e CF-P09. Nos horizontes subsuperficiais os teores de P variaram entre 0,38 a 6,35 mg dm^{-3}. Nos horizontes Ap, AB e BA dos perfis das áreas cultivadas com BN, CC e CF os teores de P oscilaram de 0,74 a 14,50; 0,53 a 7,73; e 0,31 a 8,90 mg dm^{-3}, respectivamente. Exceto para os perfis BN-P08, CC-P03 e CC-P12, nos quais verificou-se nos horizontes subsuperficiais baixos teores de P (0,38 a 6,35 mg dm^{-3}) (Figura 4a). Para as culturas da banana e café os teores recomendados de P no solo são de aproximadamente 30,0 e 10,0 mg dm^{-3}, respectivamente (Freire ***et al.***, 2013).

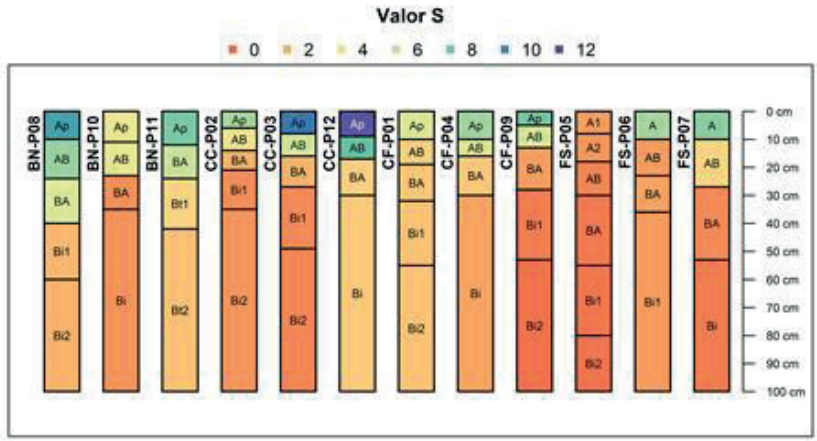
Os valores de soma de bases (Valor S) e saturação por bases (Valor V) variaram de 0 a 11 $cmol_c$ dm^{-3} e 6,0 a 90,0% (Figura 4b e 4c). Os maiores valores de soma de bases foram verificados no horizonte Ap dos perfis das áreas de BN (9,57 a 10,66 $cmol_c$ dm^{-3}), sendo os menores valores nos horizontes subsuperficiais: no horizonte Bi2 do perfil da área de CF (0,26 $cmol_c$ dm^{-3}); e sob cobertura florestal, nos horizontes Bi1 e Bi2 de FS-P05 (0,41 a 0,37 $cmol_c$ dm^{-3}) (Figura 4b).

Nos primeiros 20 cm de profundidade das áreas de BN, CC e CF foram verificados os maiores valores de soma de bases (Figura 4b). Nos perfis das áreas de FS os valores mais elevados foram constatados nos primeiros 10 cm de profundidade, reflexo da ciclagem de nutrientes. Nos horizontes subsuperficiais de todos os perfis observou-se redução significativa dos valores de soma de bases (Figura 4b). Todos os íons constituintes do complexo sortivo do solo decresceram em profundidade (Figura 3).

(a)


P
0
5
10
15
BN-P08
BN-P10
BN-P11
CC-P02
CC-P03
CC-P12
CF-P01
CF-P04
CF-P09
FS-P05
FS-P06
FS-P07
0 cm
10 cm
20 cm
30 cm
40 cm
50 cm
60 cm
70 cm
80 cm
90 cm
100 cm

(b)


Valor S
0
2
4
6
8
10
12
BN-P08
BN-P10
BN-P11
CC-P02
CC-P03
CC-P12
CF-P01
CF-P04
CF-P09
FS-P05
FS-P06
FS-P07
0 cm
10 cm
20 cm
30 cm
40 cm
50 cm
60 cm
70 cm
80 cm
90 cm
100 cm

(c)

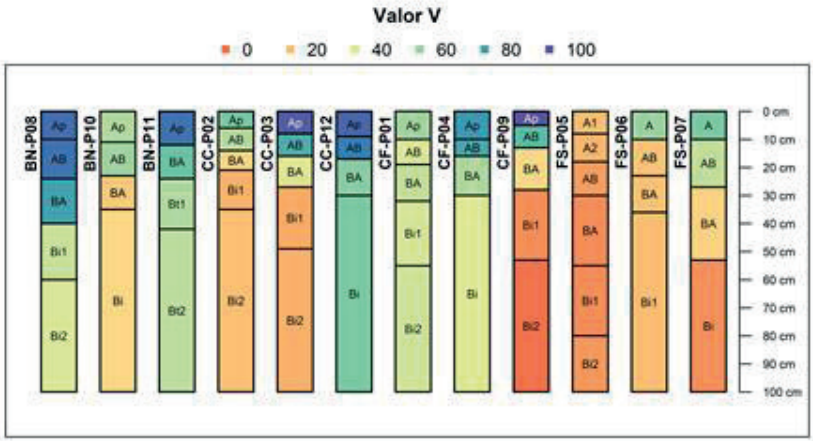


Figura 4. Valores de fósforo disponível (P, mg dm^{-3}), soma de bases (Valor S, $cmol_c$ dm^{-3}) e saturação por bases (Valor V, %) e nos horizontes dos perfis nas áreas com diferentes coberturas vegetais, sudeste do Brasil. P (a); Valor S (b); e Valor V (c). BN: Área de cultivo de banana; CC: Área de cultivo de cacau; CF: Área de cultivo de café; e FS: Área de floresta secundária do bioma Mata Atlântica.

Nos horizontes superficiais dos perfis das áreas de FS foram quantificados valores de saturação por bases de 23% (FS-P05), 54% (FS-P06) e 60% (FS-P07). Em superfície, os valores de saturação por bases das áreas cultivadas ficaram acima de 50%, com máximo de 90% (Ap de CF-P09; Figura 4c), o que contribuiu para os altos valores de pH verificados nessas áreas (Figura 2a). Valores de saturação por bases entre 13 a 23% foram constatados nos horizontes subsuperficiais dos perfis das áreas de FS, e inferiores a 50% na mesma classe de horizontes das áreas de BN, CC e CF. Com exceção de Bt1 em BN-P11 (51%) e Bi em CC-P12 (60%) (Figura 4c).

Classificação dos solos e aptidão agrícola

O horizonte superficial é de constituição mineral (horizonte A) em todos os perfis (Tabela 3), pois apresenta teores de COT < 80,0 g kg^{-1} (Figura 2c). Nos perfis das áreas cultivadas, o horizonte A recebeu o sufixo "p" para indicar modificações da camada superficial resultantes de ações antrópicas. No geral, a espessura do horizonte superficial nos perfis (A e Ap) variou de 0 a 12 cm de profundidade (Tabela 3). O que não atende ao primeiro critério para que esse seja enquadrado como chernozêmico, húmico ou proeminente. Adicionalmente, os atributos diagnósticos cor e estrutura do solo (Tabela 3) e os teores de COT ≥ 6,0 g kg^{-1} (Figura 2c) não

atendem para classificá-lo como A fraco (Santos *et al.*, 2018). Em função de não poder ser classificado como nenhum outro horizonte diagnóstico superficial, todos foram identificados como A moderado (Tabela 4).

O horizonte B de quase todos os perfis recebeu o sufixo "i" para designar o incipiente desenvolvimento do mesmo (Tabela 3). Ou seja, alterações físicas e químicas em grau não muito avançado, porém suficiente para o desenvolvimento de cor ou unidades estruturais ocorrendo numa seção ≥ 10 cm de espessura (Santos *et al.*, 2018). Esse horizonte não apresenta expressão de processos pedogenéticos específicos, sendo classificado como horizonte diagnóstico B incipiente. Os perfis que apresentaram esse horizonte diagnóstico foram identificados no primeiro nível categórico (ordem) como Cambissolos, pois não atenderam aos critérios estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos ou Organossolos.

No segundo nível categórico (subordem), os perfis CF-P01, CC-P02, CC-P03, CF-P04, FS-P05, FS-P06, FS-P07, BN-P08, CF-P09, BN-P10 e CC-P12 foram classificados como Háplicos (Tabela 4). Visto que não se enquadraram nas classes dos Hísticos, Húmicos ou Flúvicos da ordem dos Cambissolos (Santos *et al.*, 2018).

Tabela 4. Classificação dos perfis de solo das áreas com diferentes coberturas vegetais, sudeste do Brasil

Área	Perfil	Horizonte superficial	Horizonte subsuperficial	Ordem e Subordem	3º e 4º nível categórico
CF	P01	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico latossólico
CC	P02	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico típico
CC	P03	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico típico
CF	P04	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico latossólico
FS	P05	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico latossólico
FS	P06	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico típico
FS	P07	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico típico
BN	P08	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico típico
CF	P09	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico latossólico
BN	P10	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Distrófico latossólico

BN	P11	A moderado	B textural	Argissolo Amarelo	Distrófico cambissólico
CC	P12	A moderado	B incipiente	Cambissolo Háplico	Tb Eutrófico típico

BN: Área de cultivo de banana; CC: Área de cultivo de cacau; CF: Área de cultivo de café; e FS: Área de floresta secundária do bioma Mata Atlântica.

O perfil BN-P11 apresenta um horizonte B que recebeu o sufixo "t" para indicar o acúmulo de argila em subsuperfície (Figura 2b). Nesse perfil, o horizonte diagnóstico subsuperficial foi classificado como B textural, por apresentar grande aumento de argila do horizonte superficial para o subsuperficial, caracterizado por mudança textural abrupta e espessura ≥ 15 cm. Foi identificado ao nível de ordem como Argissolo (Tabela 4), pois apresenta horizonte B textural com argila de atividade baixa (Tb, < 27 $cmol_c\ kg^{-1}$ de argila). Reflexo da combinação de material originário mais ácido e clima chuvoso na região do estudo (Tabela 2), desfavorecendo a formação de minerais de argila de alta atividade. Esse perfil também não apresentou os requisitos para ser enquadrado nas classes dos Luvissolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (Santos *et al.*, 2018). Ao nível de subordem, o perfil BN-P11 foi classificado como Amarelo, por apresentar cores com matriz 7,5YR ou mais amarelo na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, inclusive BA (Tabela 3). A maioria dos perfis foi identificada como Distrófico no terceiro nível categórico (grande grupo). Ou seja, saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, incluindo BA. Excetuando o perfil CC-P12 classificado como Eutrófico (Tabela 4), com valor de saturação por bases de 60% no horizonte Bi (Figura 4c). No geral, onze dos doze perfis do estudo foram identificados como distróficos, uma vez que a composição mineralógica do material de origem não contribui para a formação de solos com alta saturação por bases.

No quarto nível categórico (subgrupo) foram verificadas classificações, como: latossólicos, solos que apresentam um horizonte diagnóstico com características similares às do B latossólico, porém com critérios que não atendem aos requisitos para classificá-lo como tal; cambissólicos, solos com 4% ou mais de minerais alteráveis visíveis e/ou 5% ou mais de fragmentos de rocha no horizonte B (exclusive BC ou B/C); típicos, solos que não apresentaram características que permitam enquadrá-los nas classes mais específicas (Santos *et al.*, 2018).

Logo, os perfis CF-P01, CF-P04, FS-P05, CF-P09, BN-P10 correspondem à classe dos Cambissolos Háplicos Tb Distrófico latossólico (CXbd latossólico); CC-P02, CC-P03, FS-P06, FS-P07 e BN-P08 à classe dos Cambissolos Háplicos Tb Distrófico típicos (CXbd típico); CC-P12 à classe dos Cambissolos Háplicos Tb Eutróficos típicos (CXbe típico); e BN-P11 à classe dos Argissolos Amarelos Distróficos cambissólicos (PAd cambissólico) (Tabela 4).

Quanto à avaliação da aptidão agrícola das terras, essa foi avaliada quanto aos seguintes fatores, a saber deficiências: de fertilidade, oxigênio e água; suscetibilidade à erosão, e impedimentos à mecanização ou cultivo. No caso específico desse estudo só será considerado o nível tecnológico ou de manejo B. Segundo Ramalho e Beeck (1995), o nível tecnológico B é aquele

> *Baseado em práticas agrícolas que refletem um nível tecnológico médio. Caracteriza-se pela modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. As práticas agrícolas neste nível de manejo incluem calagem e adubação com NPK, tratamentos fitossanitários simples, mecanização com base na tração animal ou na tração motorizada, apenas para desbravamento e preparo inicial do solo*.

Tabela 5. Classificação da aptidão agrícola das terras com base nos perfis de solo das áreas com diferentes coberturas vegetais, sudeste do Brasil

Área	Perfil	Ordem e Subordem	Classe de aptidão*	Principais limitações
CF	P01	Cambissolo Háplico	3(a)	Impedimentos à mecanização e deficiência de fertilidade
CC	P02	Cambissolo Háplico	3(ab)	Impedimentos à mecanização e deficiência de fertilidade
CC	P03	Cambissolo Háplico	3(ab)	Impedimentos à mecanização e deficiência de fertilidade
CF	P04	Cambissolo Háplico	3(a)	Impedimentos à mecanização
FS	P05	Cambissolo Háplico	6	Impedimentos à mecanização e deficiência de fertilidade
FS	P06	Cambissolo Háplico	6	Impedimentos à mecanização e deficiência de fertilidade
FS	P07	Cambissolo Háplico	6	Impedimentos à mecanização e deficiência de fertilidade
BN	P08	Cambissolo Háplico	3(ab)	Impedimentos à mecanização
CF	P09	Cambissolo Háplico	3(a)	Impedimentos à mecanização e deficiência de fertilidade
BN	P10	Cambissolo Háplico	3(ab)	Impedimentos à mecanização
BN	P11	Argissolo Amarelo	3(ab)	Impedimentos à mecanização e suscetibilidade à erosão
CC	P12	Cambissolo Háplico	3(ab)	Impedimentos à mecanização

*Segundo Ramalho Filho e Beek (1995) para os níveis de manejo B. BN: Área de cultivo de banana; CC: Área de cultivo de cacau; CF: Área de cultivo de café; e FS: Área de floresta secundária do bioma Mata Atlântica.

Para todos os perfis verificou-se limitações quanto à fertilidade natural, grande parte dos perfis foi distrófico com aumento dos teores de Al em profundidade (Figura 3b) associado à redução dos valores de soma de bases (Figura 4b) e saturação por bases (Figura 4c). Adicionalmente aos valores de P disponíveis estiveram abaixo de 10,0 mg dm^{-3} na maior parte dos perfis (Figura 4a). Para a fertilidade dos perfis

estudados, o grau dessa limitação variou de ligeiro (L) a forte (F). Para a melhoria dessas limitações recomenda-se a realização da adubação na área de projeção da copa das culturas, devido à declividade observada na área (Tabela 2), o emprego de tração motorizada ou até mesmo animal se torna limitada.

Em todos os perfis não foram observadas limitações quanto à deficiência de oxigênio, sendo esta classificada como nula (N), já que quase todos os perfis foram classificados como bem drenados. Quanto à deficiência de água verifica-se que essa pode ser classificada como variando de nula (N) a nula/ligeira (N/L). O clima da região é classificado como Aw, sendo verificado um pequeno déficit hídrico no período do inverno. O plantio adensado das variedades adaptadas à região e que cobrem o solo de maneira efetiva, associado ao emprego de culturas anuais, cobertura morta e/ou plantas de cobertura nas entrelinhas das culturas pode minimizar a perda de água no período mais seco do ano.

Quanto à suscetibilidade à erosão, em função da declividade das áreas (Tabela 2), essa foi classificada nos graus de ligeiro (L) declividade, variando na faixa de 3 a 8% a moderado (M), valores de declive entre 8 a 13%. Esse problema pode ser intensificado no perfil BN-P11, em função da mudança textural abrupta que potencializa o processo erosivo. Para minimizar os problemas decorrentes da susceptibilidade à erosão recomenda-se o cultivo adensado em faixas, plantio de culturas anuais e/ou plantas de cobertura nas entrelinhas, e implantação de sistemas agroflorestais (SAFs), que podem ser implantados nas áreas de café, cacau e banana, fornecendo diversidade na produção e reduzindo os processos erosivos.

Os impedimentos à mecanização ou ao cultivo foram as principais limitações observadas nas áreas de estudo, a elevada declividade, por vezes associada à presença de pedras e/ou rochas fizeram que essa limitação fosse classificada nos graus moderado (M) ou forte (F). Essa limitação fortalece a indicação do emprego de culturas perenes associadas a práticas conservacionistas para a diminuição dos processos de degradação.

CONCLUSÕES

Foi verificado pouca variabilidade de classes de solos na área do estudo, com ampla expressão de Cambissolos Háplicos Distróficos (latossólicos e típicos) na propriedade. Os fatores mais preponderantes para a formação dos solos foram o relevo mais acentuado contribuindo para o maior escoamento superficial; o clima chuvoso favorecendo intensa perda de nutrientes em superfície; e o material de origem com sua natureza mais ácida, resultando em solos de baixa fertilidade natural e fragmentos de rochas expostos à superfície do solo.

Não foram observadas grandes diferenças entre os perfis das áreas cultivadas com o emprego da análise dos atributos morfológicos, físicos e químicos. Exceto para um perfil da ordem dos Argissolos localizado na área de banana, caracterizado por apresentar principalmente acúmulo de argila em subsuperfície e, consequentemente, ser mais suscetível à erosão.

Em grande parte das áreas do estudo, as maiores limitações de utilização foram a baixa fertilidade natural, a suscetibilidade à erosão e os impedimentos à mecanização ou cultivo, decorrentes da declividade e também da pedregosidade e rochosidade observadas. Recomenda-se a utilização da área com culturas perenes associadas a práticas conservacionistas que garantam uma maior sustentabilidade ambiental associada à produção agrícola.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da CAPES, CNPq, PPGA-CS/UFRRJ e à Propriedade Agrícola Sítio Zandoná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22,711-728. 2014.

ASSIS, R. L.; ANTÔNIO, G. J. Y.; AQUINO, A. M. Ambientes de montaña: experiencia de desarrollo endógeno y agricultura en la Región Serrana de Distrito de Río de Janeiro (Brasil). **Cultura Científica**, n. 17, p. 10-17, 2019.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 30:565-573, 2006.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DE MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p.224-233, 2015.

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **Dia Internacional da Montanha**. FAO, 2018. http://www.fao.org/3/CA2244ES/ca2244es.pdf

FREIRE, L. R. *et al.* **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2013.

GARBIN, M. L.; SAITER, F. Z.; CARRIJO, T. T.; PEIXOTO, A. L. Breve histórico e classificação da vegetação capixaba. **Rodriguésia**, 68, 1883-1894. 2017.

GRADIM, C.; RONCATO, J.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CORDANI, U.; DUSSIN, I.; ALKMIM, F. F.; QUEIROGA, G.; JACOBSOHN, T.; SILVA, L. C.; BABINSKI, M. The hot back-arc zone of the Araçuaí orogen, Eastern Brazil: from sedimentation to granite generation. **Braz J Geol**, 44(1):155-180. 2014.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm. 1928.

LÓPEZ-NETTO, A. **Políticas públicas para o desenvolvimento rural sustentável em ambientes de montanha no Brasil e na Argentina.** Tese. 167 f. (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária) PPGCTIA - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 2013.

MARTINELLI, G. Mountain biodiversity in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, V. 30, n. 4, p. 587-597, out/dez 2007. Disponível em: www.scielo.br/pdf/rbb/v30n4/04.pdf. Acesso em 22 de agosto de 2025.

ONU - Organização das Nações Unidas. Desarrollo sostenible de las regiones montañosas. Anónimo. 2018. Disponível em: www.yachaywasi-ngo.org/SG_MTN11s.pdf. Acesso em: 22 de julho de 2018.

R CORE TEAM. **R:** A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EmbrapaCNPS, 1995. 65 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 356 p., 2018.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa: SBCS, 2015. 100 p.

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. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274. 2007.

STEINHOEFEL, G.; BREUER, J.; VON BLANCKENBURG, F.; HORN, I.; KACZOREK, D.; SOMMER, M. Micrometer silicon isotope diagnostics of soils by UV femtosecond laser ablation. **Chemical Geology**, 286(3-4), 280-289, 2011.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, Livro técnico (INFOTECA-E), 3. ed. rev. e ampl., 2017. 573 p.

TEIXEIRA, P. C.; MISRA, R. K. Erosion and sediment characteristics of cultivated forest soils as affected by the mechanical stability of aggregates. **Catena**, v. 30, p. 134-199, 1997.

WANG, Y.; ZHANG, J. H.; ZHANG, Z. H.; JIA, L. Z. Impact of tillage erosion on water erosion in a hilly landscape. **Science of the Total Environment**, Volume 551-552, p. 11. 2016. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.045

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, 19:1467-1476, New York, 1988.

CAPÍTULO 12

SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE CAFÉ SOMBREADO NA REGIÃO DA SERRA DE BATURITÉ: CONTEXTO, TRAJETÓRIA E ALTERNATIVA PARA A CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Hugo Felipe da Silva
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais.
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza

Teogenes Senna de Oliveira
Professor Titular
Departamento de Solos
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Minas Gerais

1. A AGRICULTURA NO NORDESTE DO BRASIL: ASPECTOS GEOGRÁFICOS E AGRÍCOLAS DOS BREJOS DE ALTITUDE

No nordeste do Brasil encontram-se distintos ambientes de potenciais agrícolas variados. Podem ser citados os cultivos de cana-de-açúcar nas áreas próximas ao litoral (VIDAL, 2022), fruticultura em perímetros irrigados (CASTRO, 2012), cultivos com diversas culturas pela agricultura familiar em menor escala em todo o Nordeste (MOURA, *et al*. 2007), bem como desempenho de atividades pecuárias, extrativismo e uso das plantas locais e adaptadas para composição das lavouras xerófilas nas áreas semiáridas do Nordeste (DUQUE, 2004), são exemplos dessa diversidade.

O clima semiárido abrange 53% da região nordeste (BAPTISTA e CAMPOS, 2013). Caracterizado por uma alta variabilidade espacial e temporal de chuvas, o semiárido brasileiro é classificado pela legislação brasileira como a área geográfica que possui um ou mais dos seguintes critérios: precipitação anual inferior a 800 mm, índice de aridez de Thorntwaite ≤ 0,50, percentual diário de déficit hídrico ≥ 60% (BRASIL, 2017). Sendo uma realidade dominante nos nove estados da região, sua delimitação abriga paisagens com formações geológicas e vegetais diversas, em especial, os enclaves úmidos. Enclaves úmidos são áreas mais amenas que possuem elevada altitude em relação ao seu entorno, também chamados regionalmente

de "brejos de altitude". Por serem expostos aos ventos alísios e possuírem menores temperaturas devido a elevação, os brejos de altitude são condicionados a chuvas orográficas e menor evapotranspiração em relação ao seu entorno rebaixado (GOIS; CORREA; MONTEIRO, 2019).

Enquanto na flora das áreas estritamente semiáridas predominam espécies caducifólias, em muitos brejos de altitude há uma composição de perenifólias e semi- perenifólias. Há 43 brejos de altitude, com fitofisionomia de áreas mais úmidas, abrangendo uma área de pelo menos 18.589 km^2, distribuídos nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (TABARELLI e SANTOS, 2004). Essas condições favorecem maior abundância e riqueza de animais, bem como presença de espécies endêmicas ou ameaçadas, configurando áreas importantes para a proteção da biodiversidade (THEULEN, 2004). No entanto, os brejos de altitude sofrem com a degradação pela ação antrópica em vários níveis, e poucos possuem unidades de conservação (SANTOS e TABARELLI, 2004).

Devido ao clima dos enclaves úmidos, esses locais apresentam vegetação mais densa e solos mais desenvolvidos, que os tornaram historicamente áreas privilegiadas para a prática da pequena agricultura de subsistência e comercial, que em contrapartida tem levado à degradação dos recursos naturais pelo inadequado uso do solo (GOIS; CORREA; MONTEIRO, 2019). Associado a isso, ainda há desconhecimento do valor biológico e econômico desses brejos em relação aos governos municipais e sociedade civil (SANTOS e TABARELLI, 2004).

De modo geral, os brejos são convertidos em lavouras de café, banana e culturas de subsistência, como milho, feijão e mandioca, desde o século XIX (LINS, 1989) além de olericultura e floricultura em alguns. Em relação à produção cafeeira dos brejos de altitude, o declínio econômico da produção, tanto pelo manejo inadequado quanto pela política de erradicação de cafezais imposta, à época (1960), pelo governo federal, colocou a pecuária como atividade predominante em algumas áreas, principalmente a criação de gado leiteiro, culminando em vastas áreas devastadas. (GOMES, 2004).

Em outras áreas onde houve continuação da produção cafeeira pelos agricultores, o café tem papel de destaque. No estado de Pernambuco, cidades como Garanhuns, Brejão e Taquaritinga do Norte se destacam pela produção. Esta última é uma das áreas do estado que produz café arábica típico com manejo orgânico sob sombras de árvores nativas (OLIVEIRA JÚNIOR, 2015). Com a produção de café, mercados locais e regionais também são abastecidos, sendo a região agreste, que concentra muitos brejos de altitude no estado, responsável por 92% da produção cafeeira do estado de Pernambuco (Associação Brasileira de Cafés Especiais – BSCA, 2019).

Uma outra importante referência no nordeste do Brasil que produz café sombreado é a região do Maciço de Baturité, no estado do Ceará. As plantações de café são cultivadas sob a sombra das árvores nativas, especialmente a ingazeira

(*Inga* spp.) trazendo sustentabilidade para a produção (SEVERINO e OLIVEIRA, 2000). Nesta região há incentivos para a produção sustentável do café, tanto pelo produto de maior valor biológico e menor dano ambiental, como também pela valorização da atividade fincada na cultura da população há mais de um século (OLIVEIRA *et al*. 2007).

O Maciço de Baturité possui nível altimétrico médio entre 600 – 800 m e, em algumas cristas alcança mais de 900 m, como é o caso do Pico Alto de Guaramiranga (1114 m de altitude) (BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 2017). A temperatura média anual varia entre 20 °C nas áreas de cume a 26 °C nas planícies circunvizinhas. A zona úmida central possui pluviosidade superior a 1.300 mm ano^{-1}, período seco com duração de quatro meses e predomínio de Argissolos e Neossolos Flúvicos. A zona de transição situa-se entre 900 e 1.300 mm ano^{-1}, seu período seco dura cinco ou seis meses e os solos predominantes são Argissolos e Neossolos litólicos. Já a zona semiárida, ou o "sertão", onde a precipitação anual é menor que 900 mm possui um período seco maior que seis meses (BÉTARD, 2012). A flora das áreas centrais é do tipo perenifólia e semi-perenifólia que chegam a atingir até 20 m de altura, apresentando espécies arbustivas, ambas associadas a uma grande abundância de liquens, epífitas e lianas (BASTOS; CORDEIRO; SILVA, 2017; BÉTARD, 2012). As cristas limitam a ocupação pela dificuldade de acesso, mas as áreas de platô e vertentes úmidas sofrem pela demanda de infraestrutura e uso do solo inadequado, respectivamente. As movimentações de massas nas áreas de platô e vertentes úmidas se situam sobretudo em áreas de rodovias e, especialmente, nos cultivos agrícolas (BASTOS, 2012).

O brejo de altitude da região serrana do Maciço de Baturité abriga a área de proteção permanente (APA) da Serra de Baturité, criada em 1990 com o objetivo de preservar sua biodiversidade e manter seus serviços ecossistêmicos. Devido às restrições legais de uso e ocupação, as ações públicas devem ser desenvolvidas para atividades transversais como Sistemas Agroflorestais (SAFs) e Turismo Rural, entretanto, vale salientar, que o Brasil aplica as mesmas políticas para áreas baixas e de montanha (NETTO-LÓPEZ et al. 2018). Nesse sentido, desenvolvem-se em torno da cultura do café, sistemas agroflorestais que incorporam cobertura florestal nativa nessas plantações (SEVERINO, 1997) e atividades turísticas como a Rota do Café (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE, 2017; CEARA, 2020). Daí a importância de uma agricultura conservacionista nessa região, para que o dano ambiental seja o menor possível.

A principal atividade econômica na APA da Serra de Baturité se baseou na agricultura, mas se concentrou ao longo do tempo em monoculturas. O café e a cana-de-açúcar foram as principais culturas que impulsionaram os núcleos urbanos e de trabalho. No entanto, nas últimas décadas, os municípios de Baturité, Guaramiranga e Pacoti privilegiam a atividade turística desenvolvendo sua rede hoteleira e de

restaurantes. Essas atividades geram especulação imobiliária e construção de condomínios que ameaçam a integridade do ecossistema com as novas construções (LIMA, 2010).

No Ceará, a serra de Baturité destaca-se das demais por ser a mais extensa, e uma das mais altas e mais úmidas e de maior riqueza biológica do estado, sendo considerada de grande importância na manutenção da biodiversidade e dos recursos hídricos (MANTOVANI, 2007). Devido a essa importância, foi criada a APA da serra de Baturité e assim se tornou mais imperativo a necessidade de implementação de políticas e ações direcionadas que protejam a biodiversidade e serviços ecossistêmicos nessa região (LIMA, 2010; NETTO-LÓPEZ et al. 2018).

Neste cenário, este estudo de caso levantou o histórico do uso do solo e a intrínseca relação com a cultura do café na região da serra de Baturité destacando a produção e indicadores em sistemas agroflorestais como alternativa a uma produção mais sustentável.

2. DINÂMICA DE OCUPAÇÃO DA SERRA DE BATURITÉ E PRODUÇÃO CAFEEIRA: RESGATE HISTÓRICO DESDE TEMPOS COLONIAIS

Segundo Oliveira et al. (2007), o povoamento do estado do Ceará ocorreu pela distribuição de glebas às margens dos rios e do aldeamento catequético. Na serra de Baturité, a presença pioneira dos portugueses ocorreu com os jesuítas por volta de 1655. Somente após a dominação dos povos originários (aculturação, expulsão e extermínio dos indígenas), a serra passou a ser ocupada pelos colonizadores, principalmente após grandes secas.

Ainda segundo Oliveira et al. (2007), o desmatamento das serras para os cultivos e a pecuária bovina nas terras baixas levaram a uma dinâmica de deslocamento chamada de transumância. Esse deslocamento (até meados do século XX) era comum entre os sertões e as serras e, na serra de Baturité, muitas famílias proprietárias de terras nas áreas elevadas também possuíam terras no sertão circunvizinho. Nos meses chuvosos as famílias se deslocavam para o sertão, retornando à serra no período seco. As famílias também iam à serra no período de colheita do café e fabricação de rapadura nos engenhos, como também nos anos secos onde parte do gado era levado ao encontro de forragem e água (OLIVEIRA *et al*. 2007).

A partir do século XVIII, com a introdução da atividade econômica cafeeira, teve início o processo de desenvolvimento econômico da região. Mas a cultura do café continuou com a gradativa agressão ambiental do lugar, pois o desmatamento da floresta passou a ser mais intenso para suprir a demanda por espaço agrícola, geração de energia e a construção de moradias (OLIVEIRA *et al*. 2007).

2.1. O início e a continuidade da atividade cafeeira na Serra de Baturité e alguns indicadores para uma produção mais sustentável

Inicialmente, as plantações ocupavam pequenas áreas de produção e consumo para poucas pessoas, mas difundiu-se e movimentou a economia local. Nos registros de Freire Alemão, por volta de 1860, consta que grande parte da cobertura vegetal original foi substituída por plantações de café, aumentando o processo de degradação ambiental (OLIVEIRA *et al*. 2007).

O método predatório de produção agrícola tornou-se insustentável, sendo substituído aos poucos pelos cultivos sombreados entre o final do século XIX e primeira metade do século XX (RIBEIRO; RUFINO, 2018). Essa mudança ocorreu pela observação dos cafeicultores ao constatarem que os cafeeiros que se encontravam sob a copa das árvores não perdiam sua capacidade produtiva e sobreviviam ao evento de seca no final do século XIX. A ingazeira (*Inga ingoides* Willd) é considerada, pelos cafeicultores da serra de Baturité, a melhor árvore para fornecer sombra em consórcio com o café, pois visualmente as plantas de café sob a ingazeira têm melhor desempenho do que sob outras plantas frutíferas (RIBEIRO; RUFINO, 2018; SEVERINO, 1997).

A crise da cafeicultura iniciou por volta de 1950, com o aparecimento da broca-do-café (*Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867)). Assim os proprietários das terras da região começaram a investir em outras culturas como cana-de-açúcar, algodão e fruteiras (OLIVEIRA *et al*. 2007). Seu declínio acentuado ocorreu próximo a 1960, devido tanto a escassez de terras e empobrecimento dos solos da serra de Baturité quanto a política implementada pelo Instituto Brasileiro do Café (IBC) que incentivou a erradicação dos cafezais improdutivos, culminando no aumento da produção de outras fruteiras e da olericultura (CAMPOS 2000). Devido a mudanças do mercado interno e externo, ações para recuperar a produção de café foram realizadas com o Programa de Renovação e Revigoramento de Cafezais (PRRC) no início de 1970. No Ceará, essa renovação praticamente não funcionou, pois foi implementado o cultivo a pleno sol, inadequado às zonas produtoras, com áreas íngremes e cujas características não suportam o desmatamento. A partir daí o café foi paulatinamente substituído por outras culturas, não mais retornando aos padrões dos tempos áureos (CAMPOS 2000).

As ações antrópicas degradantes ao longo do tempo na serra de Baturité declinaram a cultura mais importante para a economia local (OLIVEIRA *et al*. 2007), bem como ameaçou o abastecimento de água da capital do estado, Fortaleza. A sociedade civil pressionou o poder público, que como resposta criou a Área de Proteção Ambiental da Serra do Baturité (1990). Esse tipo de unidade de conservação se enquadra na categoria de uso sustentável e permite a ocupação humana. O

cultivo de café sombreado e orgânico, praticado pelos agricultores, contempla os requisitos legais da APA por ser um sistema mais sustentável de produção de alimentos (BLANC; KLEDAL, 2012) Contudo, na década de 1990, a produtividade do café na região diminuiu ainda mais devido à falta de manejo do cafeeiro.

Como a agricultura da serra ofertava produtos de qualidade diferenciada, a organização social dos agricultores e o apoio de instituições favoreceu um novo momento para que o café entrasse em uma nova fase. Em 1995 iniciou-se o Projeto Café Ecológico, com o apoio da organização não-governamental Fundação Cultura Educacional Popular em Defesa do Meio Ambiente (CEPEMA) que faz parte de uma rede internacional (*Land of the Future*). Nesse sentido, havia capacitação dos agricultores em práticas agroecológicas, gestão de empreendimentos coletivos e de mercado. Nesse processo foi fundada a APEMB (Associação dos Produtores Ecológicos do Maciço de Baturité) que trabalhou na qualidade do produto e oferta de café arábica orgânico para exportação já em 1997 (BLANC; KLEDAL, 2012).

Mais recentemente, além de ofertar café orgânico, os agricultores entraram no mercado dos cafés especiais, que além de fomentarem o potencial turístico da região, oferecem um produto com mais qualidade.

> Em 2013, visando esclarecer melhor o consumidor do café e incentivar o empreendedorismo, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), Regional Maciço de Baturité, Prefeituras e empreendedores locais começaram ações voltadas para o "Programa Café Verde". O programa foi uma iniciativa que proporcionou o conhecimento do café em sua totalidade. Ele comtemplou eventos como a "Rota do Café Verde" e o empreendedorismo sustentável, cujo nome faz alusão ao contexto agroecológico em que a produção cafeeira está inserida. As ações tiveram início em 2011, com a realização de estudos e um diagnóstico sobre o empreendedorismo no Maciço, mais precisamente na região do corredor verde serrano. Na ocasião, foi detectado que o café tem uma forte relação com a cultura e economia local, no entanto estava desvalorizado e esquecido. Entre as várias ações de implementação do programa, pode-se evidenciar o evento "Café Verde" realizado no município de Mulungu, em 2014. Esse município foi, historicamente, a região com maior produção de café. O evento tinha uma programação voltada para os benefícios da produção do café sustentável. Em 2015 foi lançada a "Rota do Café Verde", uma iniciativa com foco no turismo ecológico e sustentável, objetivando o resgate histórico-cultural do café na região, o crescimento econômico no meio rural e o desenvolvimento sustentável, com base no tripé: paisagens naturais, saberes locais e produção agroecológica (RIBEIRO, 2017).

Os alimentos tradicionalmente cultivados nesses brejos de altitude são mostrados na Tabela 1. Os municípios que fazem parte da rota verde do café, possuem produção agropecuária diversificada, e com expressiva produção de café. Em seis municípios da serra de Baturité, a média de produtividade de café foi de 368 kg ha^{-1} em 2017 (Tabela 1) com destaque ao município de Palmácea, com 834 kg ha^{-1}. Outras culturas como cana-de-açúcar, mandioca e milho, com produções expressivas, também são conduzidas majoritariamente pela agricultura familiar (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção das principais culturas e porcentagem de agricultores familiares dos municípios pertencentes a rota verde do café na Serra de Baturité, 2017

Município	Arroz	Cana-de-açúcar	Mandioca	Milho	Café	Agricultor familiar
	----------(kg ha^{-1})----------					(%)
Aratuba	-	10.221,29	6.371,58	820,79	235,92	74,12
Baturité	1567.30	61.123,13	5.865,63	1.185,12	162,20	81,56
Guaramiranga	-	3.199,09	2.640,45	1.932,99	282,11	31,68
Mulungu	-	8.246,30	978,47	723,18	582,59	74,27
Pacoti	1338.49	13.402,72	4.530,53	2.056,27	111,61	58,47
Palmácea	1002.10	10.303,54	2.344,73	1.007,89	834,67	72,96

Censo agropecuário 2017 (IBGE, 2021). Fonte: https://mapasinterativos.ibge.gov.br/agrocompara/

A importância das áreas de cultivo conservacionista na serra de Baturité merece ainda mais destaque, principalmente devido a presença da APA e a proteção dos recursos naturais. Severino (1997), estudando os sistemas de consórcio de café em Baturité, avaliou as áreas de sistemas agroflorestais formadas por ingazeira-cafeeiro e ingazeira-bananeira-cafeeiro, identificando que os sistemas ingazeira-cafeeiro apresentou os melhores indicadores de sustentabilidade da produção.

Os sistemas ingazeira-cafeeiro possuem uma maior produção de serapilheira que o sistema que inclui a bananeira (Tabela 2). Mesmo que a bananeira seja reconhecida como uma planta de rápido crescimento e produção de biomassa (HOFFMANN et al., 2010), a densidade de plantas de ingá e café favorecem maior produção de material orgânico depositado sobre o solo (SEVERINO e OLIVEIRA, 1999). Consequentemente uma maior cobertura do solo pela serapilheira pode favorecer inúmeros benefícios para a proteção do solo contra a radiação solar e o impacto direto das gotas de chuva, aumentar a infiltração de água no solo e reduzir o escoamento superficial, bem como reduzir drasticamente a erosão do solo (BRADY e WEIL, 2014; MINELLA et al. 2010). Esse aspecto torna-se ainda mais relevante pois a erosão é potencializada com a declividade do terreno (VALLADARES et al., 2012), como também há classes de solo como os Argissolos na região, que são susceptíveis a perda de solo por erosão em sulcos e voçorocas (FRANCISCO; SANTOS; BRITO, 2022).

Além da maior produção de material orgânico pelo café sombreado pelas árvores nativas, repercussões foram observadas na formação de matéria orgânica do solo pelo aumento do teor de carbono (C) e nitrogênio (N) das parcelas dos sistemas de uso (Tabela 2). Não só na camada de solo de 0-10 cm, mas também 10-40 cm, o sistema ingá-café mostrou um aumento nos teores de carbono orgânico. Presume-se então que esse sistema contribua para a conservação do solo e o sequestro de CO_2

atmosférico. Consequentemente, maiores teores de C e N representam uma série de benefícios para a estruturação do solo e disponibilização de nutrientes para as plantas (BRADY e WEIL, 2014).

Tabela 2 – Produção de serapilheira (julho a novembro) e teor de C e N orgânicos do solo, nas profundidades de 0 – 10 cm e 10 - 40 cm, em parcelas do sistema Ingá-café (IC) e Ingá-banana-café (IBC) no município de Mulungu no ano de 1997

Ponto de amostragem	Serapilheira	C orgânico total		N total	
	(Mg ha^{-1})	----------(g kg^{-1})----------			
		0-10 cm	10-40 cm	0-10 cm	10-40 cm
IC	3,70	18,10	11,25	1,30	0,80
IC	4,70	30,80	11,19	2,10	0,90
IC	3,35	18,79	09,74	1,30	0,70
IC	2,90	26,80	09,98	2,00	0,70
IC	3,50	26,51	14,27	2,00	1,20
Média	**3,63**	**24,20**	**11,29**	**1,74**	**0,86**
IBC	1,75	26,80	11,37	2,00	0,70
IBC	2,60	15,49	9,28	1,20	0,70
IBC	2,65	25,58	8,58	2,00	0,60
IBC	3,20	23,20	7,02	1,80	0,50
IBC	3,45	16,88	8,29	1,20	0,60
Média	**2,73**	**21,59**	**8,91**	**1,64**	**0,62**

Fonte: Severino e Oliveira (1999). *Nota*: A amostragem da serapilheira consistiu em uso de uma rede coletora com 1 m^2 suspensa a 50 cm do solo. O material era coletado em intervalos de 15 dias, posteriormente seco em estufa a 72 ºC e determinado o peso seco. Amostras de solo compostas a partir de quatro amostras simples em cada parcela de 5 m de raio foram coletadas separadamente em suas respectivas profundidades. A partir de cada amostra, o C orgânico total foi determinado por oxidação com solução de $K_2Cr_2O_7$ (WALKLEY; BLACK, 1934). O N total foi determinado por destilação Kjeldahl em solução indicadora de ácido bórico (BREMNER; MULVANEY, 1982; TEDESCO et al., 1995).

Os maiores teores de C e N e aporte de serapilheira no café sombreado no consórcio Ingá-café (IC) também corresponde a uma maior produtividade das plantas de café (Tabela 3). A produtividade média de 2.635 kg ha^{-1} do IC era 275% maior do que a produtividade média do consórcio Ingá-banana-café (IBC) com 958 kg ha^{-1}. Além da presença de plantas nativas como o camunzé (*Albizia polycephala* (Benth.) Killip ex Record) mas principalmente a ingazeira (*Inga ingoides* (Rich.) Willd.) (Tabela 3), que são necessárias para contemplar os aspectos legais requisitados para a produção na APA de Baturité.

Tabela 3 – Produtividade, índice de sombreamento (IS), e densidade de plantas em parcelas do sistema Ingá-café (IC) e Ingá-banana-café (IBC) no município de Mulungu no ano de 1997

Ponto de amostragem	Produtividade	IS	Café	Banana	Ingá	Camunzé	Frutíferas
	(kg ha^{-1})		(plantas ha^{-1})				
IC	1150	3,2	3057	715	221	22	-
IC	2600	2,5	2930	-	265	-	-
IC	3475	4,6	2994	520	310	-	-
IC	3700	2,5	3184	-	155	22	-
IC	2250	2,3	2929	-	111	-	22
Média	**2635**	**3,0**	**3019**	**247**	**212**	**9**	**4**
IBC	500	1,8	2165	1754	22	-	22
IBC	490	1,3	3184	1884	111	44	22
IBC	2700	1,2	3439	2599	88	22	-
IBC	400	1,8	3694	2144	111	44	-
IBC	700	2,3	2420	1624	88	22	22
Média	**958**	**1,68**	**2980**	**2001**	**84**	**26**	**13**

Fonte: Severino (1997). *Nota*: A produtividade foi determinada colhendo-se o café manualmente em cada parcela de 5 m de raio. Parcelas de 7 m de raio para determinação da densidade das bananeiras e de 12 m de raio para avaliação do nível de sombreamento e densidade do estrato arbóreo. As coletas foram realizadas em julho de 1997.

Os sistemas da Serra de Baturité ainda têm se destacado pela qualidade diferenciada do produto, com o café especial apreciado pela sua boa qualidade de bebida. Conforme Liberatti e Silva (2019):

> Os lotes de cafés especiais são da espécie arábica da variedade típica, uma das variedades mais próximas das produzidas em seu *terroir* de origem, na Etiópia. O cafezal é todo sombreado e produzido em área de conservação de uma região serrana, onde a colheita é toda manual e feita pelas mulheres. Após a colheita, o beneficiamento segue pelas mãos das mulheres até a finalização do produto: o café torrado e embalado. No Sítio São Roque, localizado em Mulungu, produz um café com *terroir* inconfundível (LIBERATTI e SILVA, 2019).

Esses aspectos têm levado a uma revitalização da cultura do café na serra de Baturité pois a demanda pelo produto vem crescendo e está impulsionando a economia local, em especial o turismo trazendo tanto visibilidade para o modo de produção quanto para a compra do produto, e o café por sua vez também beneficia o turismo (RIBEIRO et al. 2023).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas conservacionistas, como os consórcios e sistemas agroflorestais, que contemplem não só a manutenção de cobertura vegetal e material orgânico sobre os solos dessas áreas prioritárias para conservação, mas também a organização social e instituições parceiras para o desenvolvimento local contextualizado, demonstram grande importância para a proteção dos recursos naturais. O caso do sistema do café sombreado na Serra de Baturité demostra ser uma alternativa viável diante do seu contexto legal e geográfico em um ambiente cuja degradação deriva desde tempos coloniais. Além disso, vem sendo viabilizada a produção de um produto de alta qualidade como os cafés especiais.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Cafés Especiais – BSC. **Pernambuco**. Descrição. 2019. Data de acesso: 07/09/2021. Disponível em: https://www.bsca.com.br/region/show/id/14.

BAPTISTA, N. de Q.; CAMPOS, Carlos Humberto. Caracterização do semiárido brasileiro. **Convivência com o Semiárido Brasileiro**: autonomia e protagonismo social. Brasília: IABS, p. 45-50, 2013.

BASTOS, F. H. Movimentos de massa no maciço de Baturité (CE) e contribuições para estratégias de planejamento ambiental. Universidade Federal do Ceará. **Tese de Doutorado em Geografia**. Fortaleza, 2012.

BASTOS, F. H.; CORDEIRO, A. M. N.; SILVA, E. V. Aspectos geoambientais e contribuições para estratégias de planejamento ambiental da Serra de Baturité/CE. **Revista da ANPEGE**. V.13, n.21, p.163-198, 2017.

BÉTARD, François. Spatial variations of soil weathering processes in a tropical mountain environment: the Baturité massif and its piedmont (Ceará, NE Brazil). **Catena**, v. 93, p. 18-28, 2012. Doi: https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.01.013

BLANC, Julien; KLEDAL, Paul R. The Brazilian organic food sector: Prospects and constraints of facilitating the inclusion of smallholders. **Journal of Rural Studies**, *[S. l.]*, v. 28, n. 1, p. 142–154, 2012. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2011.10.005. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0743016711000921. Acesso em: 6 set. 2021.

BRADY, N.; WEIL, R. **Elementos da natureza e propriedades do solo.** Pearson Education Limited; 3 ed. 2014.

BRASIL. **RESOLUÇÃO** Nº 107, DE 27 DE JULHO DE 2017. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19287874/do1-2017-09-13-resolucao-n-107-de-27-de-julho-de-2017-19287788

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Total nitrogen. Em: PAGE, A. L. (org.). Methods of soil analysis. 1. ed. Madison: **American Society of Agronomy**, 1982. p. 595–624.

CAMPOS, J. A. Aspectos histórico-econômicos geoambientais e ecológicos da serra de Baturité. **Fundação CEPEMA**, Fortaleza, 60 p. 2000.

CASTRO, C. N. **A agricultura no Nordeste brasileiro**: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. Texto para Discussão, 2012.

CEARÁ. **Potencialidades do café no Maciço de Baturité será tema da Live promovida pela Sedet**. Agosto 2020. Data de acesso: 07/09/2021. Disponível em: https://www.ceara.gov.br/2020/08/12/potencialidades-do-cafe-no-macico-de-baturite-sera-tema-da-live-promovida-pela-sedet/

DUQUE, J. G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. Banco do Nordeste do Brasil, 2004.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; BRITO, T. P. Potencial natural de erosão e limite de tolerância de perdas de solo em bacia hidrográfica na região do brejo paraibano. **Revista Geama**, v. 8, n. 1, p. 33-42, 2022.

GOIS, L. S. S.; CORREA, A. C. B.; MONTEIRO, K. A. Análise Integrada dos Brejos de Altitude do Nordeste do Brasil a partir de Atributos Fisiográficos. **Espaco aberto**, v. 9, n. 2, p. 77-98, 2019.

GOMES, M. A. O Parque Ecológico Vasconcelos Sobrinho e a Reprodução Socioambiental do Insustentável. **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba**, p. 49, 2004.

HOFFMANN, R. B. et al. Acúmulo de matéria seca, absorção e exportação de micronutrientes em variedades de bananeira sob irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 536-544, 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário 2017. Fonte: https://mapasinterativos.ibge.gov.br/agrocompara/. Data de acesso. 20/12/2021.

LIBERATTI, A. I.; SILVA, P. F. CAFÉS BRASILEIROS: PATRIMÔNIOS, HISTÓRIAS E SABORES. **Revista Empreenda UniToledo Gestão, Tecnologia e Gastronomia**, v. 3, n. 1, 2019.

LIMA, V. T. A. No contorno da serra: campesinato, cultura e turismo em Guaramiranga-CE. **Tese**. 163f. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 2010.

LINS, R.C. Áreas de exceção do agreste pernambucano. Série Estudos Regionais 20. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - Sudene. Recife, 1989.

MANTOVANI, W. Conservação de biodiversidade: importância das serras úmidas no nordeste semi-árido brasileiro. **Diversidade e conservação da biota na Serra de Baturité, Ceará. Fortaleza: Edições UFC-COELCE**, 2007.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. In: **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Org. PRADO, Rachel Bardy; TURETTA, Ana Paula Dias; ANDRADE, Aluísio Granato de – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

MOURA, M. S. B. et al. Clima e água de chuva no Semi-Árido. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2007.

NETTO-LÓPEZ, A.; ASSIS, R. L. ; AQUINO, A. M. ; GUEDES, C. A. M. . As políticas internacionais para os ambientes de montanha e o contexto brasileiro. In: Adriana Maria de Aquino; Amazile López-Netto; Renato Linhares de Assis. (Org.). **Desenvolvimento Sustentável em Ambientes de Montanha.** 1ed.Niteroi: Rio Rural e Embrapa Agrobiologia, 2018, v. 1, p. 79-98.

OLIVEIRA, T. S. *et al*. Histórico dos impactos antrópicos e aspectos geoambientais da serra de Baturité, Ceará. **Biodiversidade e conservação da biota na serra de Baturité, Ceará. Fortaleza: Edições UFC, Coelce**, p. 17-72, 2007.

OLIVEIRA JUNIOR, R. M. **A comercialização e sustentabilidade do café arábica típica orgânico de Taquaritinga do Norte-PE**. Dissertação, 157f. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Programa de pós-graduação em Administração e Desenvolvimento Rural. Recife-Pernambuco, 2015.

RIBEIRO, Sofia Regina Paiva. **A produção do café agroflorestal no Maciço de Baturité:** uma abordagem histórico-social. Dissertação. 97f. Universidade da Integração Internacional da Lusofonia AfroBrasileira, Redenção, 2017. Disponível em: https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/handle/123456789/735

RIBEIRO, S. R. P.; RUFINO, M. S. M. O café agroecológico produzido na região serrana de Baturité, Ceará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, *[S. l.]*, v. 13, n. 4, p. 521, 2018. DOI: 10.18378/rvads.v13i4.5779. Disponível em: http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS. DOI:http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i4.5779.

RIBEIRO, S. R. P.; LIMA, F. A. X.; LOIOLA, M. I. B. O café sombreado da serra de Baturité, Ceará, Nordeste do Brasil: gestão ambiental, sustentabilidade e impactos eco-ssocioeconômicos. Turismo: Visão e Ação, v. 25, p. 482-504, 2023. DOI: https://doi.org/10.14210/rtva.v25n3.p482-504

SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. Integridade, esforço e diretrizes para conservação dos Brejos de Altitude da Paraíba e Pernambuco. **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação**. **(KC Porto, JJP Cabral, and M Tabarelli, eds.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília.** p. 229-254, 2004.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE. Data: 2017. **Rota Verde do Café**. Data de acesso: 07/09/21. Disponível em: https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ce/sebraeaz/rota-verde-do-cafe,75f678e27c28c510VgnVCM1000004c00210aRCRD

SEVERINO, L. S. **Diagnóstico de um sistema de cultivo do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) no Maciço de Baturité – CE**. Monografia. 73 f. Universidade Federal do Ceará (UFC). Centro de Ciências Agrárias. Fortaleza-CE. 1997.

SEVERINO, Liv Soares; DE OLIVEIRA, Teógenes Senna. **Café sombreado no Maciço de Baturité**. Fundacao Cultura Educacional Popular em Defesa do Meio Ambiente, Fortaleza (Brasil), 2000.

SEVERINO, L. S.; OLIVEIRA, T. S. Sistema de cultivo sombreado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na região de Baturité, Ceará. **Ceres**, v. 46, n. 268, P. 635-562, 1999.

TABARELLI, Marcelo; SANTOS, André Mauricio Melo. Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos. **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação**. **(KC Porto, JJP Cabral, and M Tabarelli, eds.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília** v. 9, p. 17-24, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 1. ed. Porto Alegre. 1995.

THEULEN, V. Conservação dos brejos de altitude no Estado de Pernambuco. **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação. (KC Porto, JJP Cabral, and M Tabarelli, eds.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília**, p. 299-302, 2004.

VALLADARES, G. S.; GOMES, A. S.; TORRESAN, F. E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1376-1383, 2012.

VIDAL, M. F. Açúcar: Cenário mundial e situação da produção brasileira e nordestina. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, (**Caderno Setorial Etene**), ano 6, n.215, mar. 2022.

WALKLEY, A.; BLACK, I. Armstrong. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, [S. l.], v. 37, p. 29–38, 1934. DOI: 10.1097/00010694-193401000-00003.

ASPECTOS GERAIS E MANEJO DE SOLOS DE MONTANHA

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2025

ASPECTOS GERAIS E MANEJO DE SOLOS DE MONTANHA

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2025