

DE FLORESTA A PASTAGEM: ALTERAÇÕES QUÍMICAS, GRANULOMÉTRICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO EM ALEGRE/ES.

Aline Vieira da Silva¹, Bianca Callegari Freitas², Daniel Ferreira Leal¹, Gabriel Mendonça Lack², Steffany de Freitas Badaró Rodrigues¹, Júlio César da Silva Rosário¹, Leandro Fonseca de Souza¹.

¹Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário s/n, 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, alinevdasilva1998@gmail.com, danielleal942@gmail.com, steffany.fbr@gmail.com, julio.rosario.agro@gmail.com, leandro.f.souza@ufes.br.

²Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Alto Universitário s/n, 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, bianca.callegarifreitas@outlook.com, lackgabriel.m@gmail.com.

Resumo

O solo é fundamental para a sustentabilidade agrícola e ambiental. No Espírito Santo, a substituição de florestas por pastagens tem causado alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Este estudo avaliou a qualidade do solo em áreas de floresta e pastagem na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo. Realizando análises físicas, químicas e microbiológicas. Foi constatada maior fertilidade e estabilidade microbiana na floresta, com teores mais elevados de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Em contraste, a pastagem apresenta maior variabilidade e redução de nutrientes. A contagem de unidades formadoras de colônias evidenciou maior diversidade microbiológica na floresta que contribui para a ciclagem de nutrientes. Conclui-se que a conversão de floresta em pastagens compromete a qualidade e a saúde do solo, reforçando a importância de modelos agrícolas sustentáveis para a conciliação de produção e conservação.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Uso do solo. Bioindicadores. Nutrientes. Sustentabilidade agrícola.

Área do Conhecimento: Ciências agrárias, agronomia.

Introdução

O solo é um recurso natural fundamental para o equilíbrio dos ecossistemas, desempenhando funções ecológicas, produtivas e socioculturais que impactam diretamente a saúde humana, animal e ambiental, conforme o conceito de Saúde Única (*One Health*), defendido por organizações como a OMS e a FAO (Destefano *et al.*, 2020; FAO, 2022).

Este atua como um suporte físico para plantas, auxiliando na regulação de ciclos nutricionais e hídricos, além de abrigar uma extensa diversidade de organismos edáficos e microbiológicos (Lal, 2004; Schlesinger, 2013). Diversidade essa que contribui para a manutenção da fertilidade e sustentabilidade agrícola. Portanto, o solo e sua qualidade atuam como um importante pilar para sustentabilidade ambiental e produção agrícola, como na sobrevivência de microrganismos (Lal, 2015; Montanarella; Panagos, 2021).

No Brasil, o uso do solo foi historicamente marcado por extrativismo e monocultura, resultando em desmatamento e fragmentação dos biomas, como a Mata Atlântica, que perdeu mais de 90% de sua cobertura (Santos *et al.*, 2025).

No Espírito Santo, onde a pecuária bovina ocupa grande parte das áreas de Mata Atlântica convertidas em pastagem, compreender os impactos da mudança de uso do solo é essencial para a sustentabilidade produtiva e conservação do bioma. Segundo o Censo Agropecuário de 2017, o estado possui 1,2 milhão de hectares de pastagens, enfatizando a relevância da pecuária e a pressão imposta sobre os recursos naturais. (Santos *et al.*, 2025; IBGE, 2019).

No estado, a pecuária extensiva proporcionou um certo desenvolvimento econômico, mas também impactou negativamente o ambiente. Como na compactação, erosão, perda de matéria orgânica e redução da biodiversidade do solo (Peron; Evangelista, 2004). A degradação é um processo

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

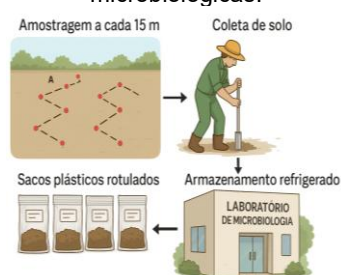
gradual, perceptível a médio e longo prazo, influenciado pelo tipo de solo, intensidade do uso e ausência de práticas conservacionistas (Dias-Filho, 2011; Sá *et al.*, 2017). Nesse contexto, torna-se essencial compreender os efeitos das mudanças de uso, especialmente a substituição de matas por pastagens, para diagnosticar a degradação e definir estratégias de manejo visando a sustentabilidade do solo. Bioindicadores, como microrganismos e enzimas, têm se mostrado eficazes na avaliação precoce da qualidade do solo (Lisboa *et al.*, 2012; Carneiro, 2022). Ademais, a adoção de práticas sustentáveis, como pastejo rotacionado, adubação orgânica, controle do pisoteio, uso de espécies forrageiras adaptadas, cobertura vegetal permanente e rotação de culturas, contribui para manter a fertilidade, a estrutura física, a ciclagem de nutrientes e a resiliência do solo (Dias-Filho, 2011; Martha Júnior *et al.*, 2007; SÁ *et al.*, 2017; Derpsch *et al.*, 2010).

Portanto, este trabalho busca reunir conhecimentos sobre o bioma do Espírito Santo, a importância das pastagens, e avaliar as alterações físicas, químicas e microbiológicas em áreas de floresta e pastagem no sul do Espírito Santo, com enfoque na qualidade do solo e nos indicadores enzimáticos.

Metodologia

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre – ES (20°45'3.67"S; 41°29'14.79"O), em duas áreas: mata atlântica (F) e pastagem (P). Cada área foi dividida em cinco pontos de coleta em zig-zag, com amostras de solo coletadas na profundidade de 0–10 cm, por ser a camada mais suscetível às mudanças de manejo e onde há maior concentração de matéria orgânica, raízes finas e atividade microbiana. (Lisboa *et al.*, 2012; Mendes *et al.*, 2021). Na área de mata, situada acima do cultivo de café conilon, as amostras foram coletadas após a remoção da serrapilheira, em área declivosa e de difícil acesso, cujos pontos foram de F1.1 a F1.5. Na área de pastagem, localizada ao lado do Hospital Veterinário (Hovet), em sistema rotacionado, com solo coberto por braquiária possuindo boa produção de biomassa, as coletas foram uniformes, com 15 m de distância entre os pontos (P1.1 a P1.5). Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório e devidamente identificadas para realização das análises (Figura 1). Para ambas as áreas, três repetições foram destinadas às análises físicas e químicas. As análises físicas consistiram na determinação da textura pelo método da pipeta, com agitação lenta a 50 rpm por 16 horas, utilizando NaOH 0,1 mol/L como dispersante (Teixeira *et al.*, 2017). As análises químicas avaliaram macro e micronutrientes, pH, matéria orgânica e capacidade de troca catiônica, por diferentes métodos: pH em relação solo:água 1:2,5; fósforo (Mehlich⁻¹, colorimetria); Na e K (Mehlich⁻¹, fotometria de chama); Ca e Mg (KCl 1 mol/L, espectrometria de absorção atômica); Al (KCl 1 mol/L, titulometria); H + Al (acetato de cálcio 0,5 mol/L pH 7,0, titulometria); carbono orgânico por oxidação úmida; micronutrientes (Mehlich⁻¹, absorção atômica); B (extração em água quente, colorimetria) e fósforo remanescente (CaCl₂ 0,01 mol/L com 60 mg/L de P). Com o intuito de estimar o número de bactérias e fungos presentes por grama do solo, foi realizada a avaliação de carga bacteriana a partir de 1 g de solo adicionado a 9 mL de solução salina 0,85%, homogeneizado e diluído até 10⁻⁵. As diluições 10⁻² e 10⁻⁵ foram plaqueadas em ágar nutriente com auxílio da alça de Drigalski estéril. Em seguida, as placas foram incubadas a 28 °C por 24 horas e as UFC contadas com lupa (Figura 2).

Figura 1 - Fluxograma representando coleta do solo para realização das análises físicas, químicas e microbiológicas.



Fonte: Autores (2025).

Figura 2 - Fluxograma representando análise da carga bacteriana.

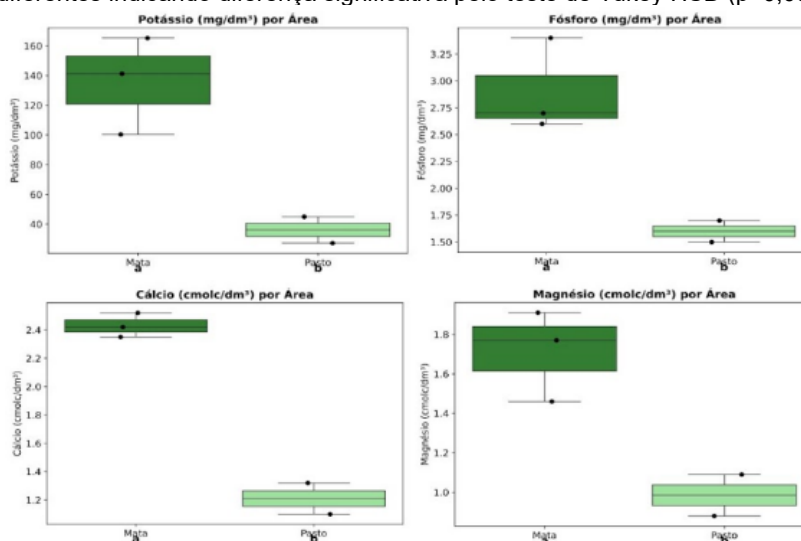


Fonte: Autores (2025).

Resultados

As análises realizadas evidenciaram diferenças significativas entre os solos sob floresta e pastagem, tanto nos parâmetros químicos quanto microbiológicos. Para os parâmetros químicos, a análise de variância seguida do teste de Tukey ($p < 0,05$) demonstrou que os solos sob floresta apresentaram maiores teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio em relação aos solos sob pastagem. Esses resultados indicam maior retenção e ciclagem de nutrientes em áreas florestais, influenciadas pela serapilheira e pela maior matéria orgânica.

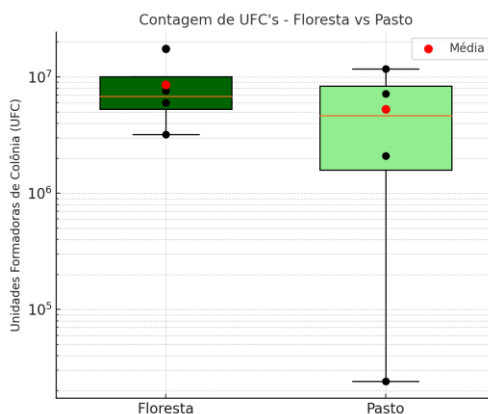
Figura 3 - Teores médios de fósforo, potássio, cálcio e magnésio nos solos sob floresta e pastagem, com letras diferentes indicando diferença significativa pelo teste de Tukey HSD ($p < 0,05$).



Fonte: Autores (2025).

A contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) revelou maior diversidade e estabilidade microbiana nos solos de floresta em comparação aos de pastagem. O boxplot (Figura 4) mostra menor dispersão nas contagens da floresta, sugerindo maior equilíbrio da microbiota.

Figura 4 - Boxplot comparativo das contagens de UFC (Unidades Formadoras de Colônias) entre os ambientes de Floresta e Pasto.



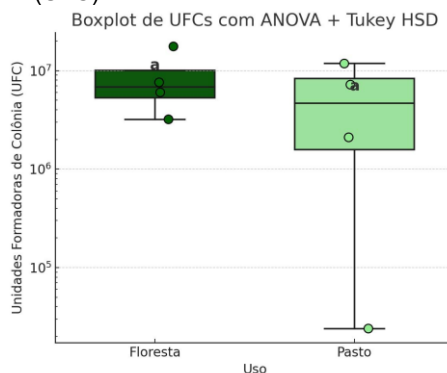
Fonte: Autores (2025).

Apesar de a ANOVA não indicar diferenças estatisticamente significativas ($p = 0,4489$), observou-se que os solos de pastagem apresentaram maior variabilidade e presença de *outliers*. Isso

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

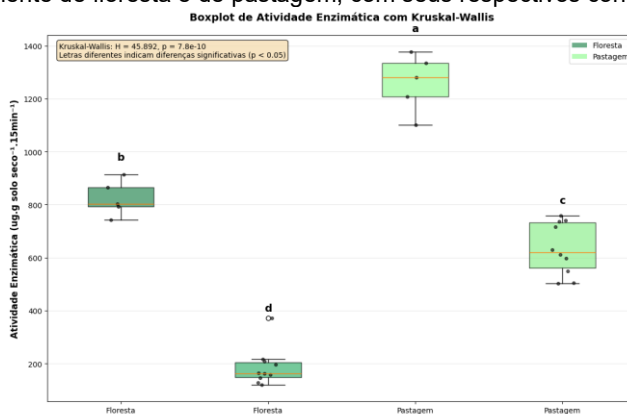
reforça que áreas florestais em regeneração contribuem para a recuperação da qualidade biológica do solo.

Figura 5 - Análise ANOVA com Tukey HSD comparando a diferença média das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) entre os ambientes de Floresta e Pasto.



Fonte: Autores (2025).

Figura 6 - Análise de Kruskal-Wallis comparando a diferença média da atividade enzimática para o solo de ambiente de floresta e de pastagem, com seus respectivos controles.



Fonte: Autores (2025).

Discussão

O estudo identificou diferenças significativas na disponibilidade de nutrientes entre solos sob floresta e pastagem, confirmando a importância da vegetação nativa na manutenção da fertilidade (Numata *et al.*, 2023; Nascimento *et al.*, 2024). Solos florestais apresentaram maiores teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio devido à ciclagem de nutrientes promovida pela serapilheira (Correia *et al.*, 1999; Bayer *et al.*, 1999), enquanto os de pastagem mostraram perdas associadas ao pastejo e à lixiviação (Cherubin *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2020). Tais perdas podem elevar a necessidade de calagem e adubação, podendo aumentar os custos da pecuária no Espírito Santo.

Na microbiologia do solo, solos de floresta apresentaram maior estabilidade nas contagens microbianas, contrastando com a maior variabilidade observada nas pastagens, atribuída ao manejo intensivo e condições menos favoráveis (Navarrete *et al.*, 2015; Rodrigues *et al.*, 2013; Anderson *et al.*, 2011; Carvalho *et al.*, 2016). Em termos de atividade enzimática, os solos de pastagem, especialmente as amostras controle, superaram os demais ambientes, revelando microhabitats com características específicas que favorecem processos bioquímicos (Santos, Rodrigues & Pereira, 2020).

A hierarquia observada entre os ambientes (pastagem controle > floresta controle > pastagem regular > floresta regular) indica que, além do tipo de vegetação, fatores locais influenciam fortemente a dinâmica edáfica (Silva *et al.*, 2021). A decomposição acelerada da matéria orgânica nas pastagens favorece a atividade enzimática (Oliveira *et al.*, 2019), como confirmado pelo teste de Kruskal-Wallis ($H = 45,892$; $p = 7,8 \text{ e-}10$), evidenciando diferenças estatisticamente significativas (Costa *et al.*, 2022).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

A utilização de bioindicadores, como sugerido pelo sistema BioAS desenvolvido pela Embrapa (Mendes *et al.*, 2021), apesar de não ter sido utilizada nas análises deste estudo, pode atuar complementando as análises futuras relacionadas a este trabalho, oferecendo ferramentas práticas de monitoramento da saúde do solo, analisando enzimas relacionadas aos ciclos do carbono e enxofre, como a beta-glicosidase e a arilsulfatase.

Apesar do manejo rotacionado e da ausência de sinais de degradação, as pastagens apresentaram alterações relevantes no solo, reforçando a necessidade de práticas conservacionistas como o plantio direto e sistemas agroflorestais (Lisboa *et al.*, 2012; Mendes *et al.*, 2021). Por fim, os dados confirmam que a conversão florestal para uso pecuário compromete a sustentabilidade do solo (Peron & Evangelista, 2004; Dias-Filho, 2011), embora técnicas adequadas de manejo possam mitigar parcialmente esses impactos (Sá *et al.*, 2017; Derpsch *et al.*, 2010).

Conclusão

Este estudo demonstrou que os diferentes usos do solo alteram significativamente a qualidade química e biológica do solo. Os solos sob ambiente de floresta apresentaram maiores teores de nutrientes e maior estabilidade microbiana, enquanto as áreas de pastagem mostraram redução desses atributos, ainda que sob manejo rotacionado. Apesar disso, a pastagem demonstrou atividade enzimática 60% superior, com destaque para as amostras controle, que registraram valores 4 a 5 vezes mais elevados que as amostras regulares em ambos os ecossistemas.

Esses resultados evidenciam que a cobertura florestal exerce papel essencial na manutenção da fertilidade e da atividade biológica do solo. Além disso, indicam que sistemas de uso da terra que preservem a ciclagem de nutrientes e a diversidade microbiana são fundamentais para a sustentabilidade produtiva e ambiental no Espírito Santo.

Conclui-se que a adoção de práticas conservacionistas e o reconhecimento da heterogeneidade espacial dos processos bioquímicos são essenciais para conciliar produção com sustentabilidade ambiental no Espírito Santo. Nesse sentido, o monitoramento contínuo por meio de bioindicadores, aliado ao manejo adequado do solo, representa uma ferramenta estratégica para integrar conservação e produtividade na pecuária capixaba.

Referências

- ANDERSON, M. J.; CRIST, T. O.; CHASE, J. M.; VELLEND, M.; INOUE, B. D.; FREESTONE, A. L.; SANDERS, N. J.; CORNELL, H. V.; COMITA, L. S.; DAVIES, K. F.; HARRISON, S. P.; KRAFT, N. J. B.; STEGEN, J. C.; SWENSON, N. G. Navigating the multiple meanings of beta diversity: a roadmap for the practicing ecologist. **Ecology Letters**, v. 14, n. 1, p. 19–28, 2011.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; PAVINATO, A. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 101–109, 1999.
- CARVALHO, T. S.; JESUS, E. C.; BAREA, J. M.; FIGUEIREDO, M. V. B.; TSAI, S. M. Land use intensification in the tropics increases soil microbial biomass and decreases diversity. **Environmental Microbiology**, v. 18, n. 3, p. 1057–1064, 2016.
- CHERUBIN, M. R.; SANTOS, L. B.; SILVA, R. P.; OLIVEIRA, J. C.; CASTRO, S. S. Soil organic matter dynamics in degraded pastures of tropical regions: current knowledge and future perspectives. **Soil & Tillage Research**, v. 230, p. 105–118, 2023.
- CORREIA, M. F.; ANDRADE, R. S.; CARVALHO, R. C. R.; SOUTO, J. S. Alterações químicas em solos de mata e pastagens na região amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 993–1001, 1999.
- DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A.; LI, H. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, n. 1, p. 1–25, 2010.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2011.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

LISBOA, B. B.; SOUTO, J. C.; SILVA, R. C. F.; MELO, W. J. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 276–282, 2012.

MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F. BioAS: indicador biológico da qualidade do solo. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2021.

NASCIMENTO, R. S.; MARTINS, D. L.; ARAÚJO, H. P.; COSTA, G. F. Nutrient cycling in tropical soils under different land uses. **Soil Use and Management**, v. 40, p. 85–97, 2024.

NAVARRETE, A. A.; KURAMAE, E. M.; DE HOLLANDER, M.; PIJL, A.; VAN VEEN, J. A.; TSAI, S. M. Microbial succession in tropical soils after land use change: community and functional responses. **Ecology and Evolution**, v. 5, p. 144–152, 2015.

NUMATA, I.; SILVA, C. T.; PEREIRA, T. C.; MOURA, L. C. Land use and phosphorus dynamics in tropical soils. **Biogeosciences**, v. 20, p. 1123–1137, 2023.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 655–661, 2004.

RODRIGUES, J. L. M.; PELLIZARI, V. H.; MUYZER, G.; MENEZES, F. G. R.; ARAÚJO, F. S.; PAULA, F. S.; MIRZA, B. S.; NUSSLEIN, K.; BOHANNAN, B. J. M. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v. 110, n. 3, p. 988–993, 2013.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LIMA, J. M.; SPERA, S. T. Sistema plantio direto no Brasil: história, evolução e perspectivas. **Revista Ceres**, v. 64, p. 868–877, 2017.

SANTOS, A. R.; OLIVEIRA, M. S.; ALMEIDA, P. H. Atlas da Mata Atlântica: uso e cobertura do solo. São Paulo: **SOS Mata Atlântica**, 2025.

SILVA, E. R.; FREITAS, M. P.; CUNHA, L. A.; BARROS, D. G. Soil fertility loss in degraded pastures of tropical regions. **Catena**, v. 189, p. 104–118, 2020.

Agradecimentos

Ao Projeto de Ensino: PBL no ensino de microbiologia e bioquímica do solo: prática científica e formação profissional para a sustentabilidade", financiado pela Universidade Federal do Espírito Santo e coordenado pelo Prof. Leandro F. de Souza.