

Rio de Janeiro, RJ / Novembro, 2025

Efeito de curto prazo da adição de serrapilheira e nutrientes na estabilização do C e N em solo de pastagem

Fabiano de Carvalho Balieiro⁽¹⁾, Gustavo Mattos Vasques⁽¹⁾, Rosangela Stralio⁽¹⁾, Glauter Henrique Sotero Martins⁽²⁾, David Vilas Boas de Campos⁽¹⁾, Ademir Fontana⁽³⁾, Rodrigo Nogueira Silvestre Batista⁽⁴⁾, Luciana Rodrigues Souza⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. ⁽²⁾ Estudante, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. ⁽⁴⁾ Estudante, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ), Rio de Janeiro, RJ. ⁽⁵⁾ Estudante, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ.



Introdução

A presença de gramíneas como *Urochloa* spp. (syn. *Brachiaria* spp.), com sistemas radiculares fasciculados e abundantes, é apontada como uma das principais responsáveis pelo acúmulo diferenciado de carbono (C) em solos de sistemas de integração lavoura-pecuária (Mendes et al., 2018; Sarto et al., 2020; Chaer et al., 2023). Parte do desempenho das gramíneas nesses sistemas é decorrente do efeito residual da adubação das culturas principais. Apesar disso, pouco se discute sobre o papel dessa adubação no comportamento da biota subterrânea e na humificação da matéria orgânica do solo (MOS) em sistemas integrados de produção agropecuária.

Lisboa et al. (2014) desenvolveram um estudo integrando propriedades químicas e a estrutura de comunidades microbianas em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), comparando um solo degradado, um solo bem manejado e uma área de vegetação nativa do Bioma Cerrado, utilizando análise de Procrustes – método estatístico que compara a forma ou configuração de dois ou mais conjuntos de dados, alinhando-os para minimizar a diferença entre eles por meio de transformações como translação, rotação e escalonamento (Vandeginste et al., 1998). Os resultados do trabalho indicaram que os estoques de C do solo e a sua estabilização podem variar com a adubação (especialmente de P) ou calagem, já que ambas as

práticas afetam direta ou indiretamente as plantas e as respostas microbianas.

Segundo alguns autores (Kirkby et al., 2011, 2014), a adubação do solo respeitando determinada estequiometria, ou seja, a razão entre determinados elementos químicos, pode ser a chave para o aumento da taxa de sequestro de C em frações mais estáveis da MOS. Segundo esses autores, a adição de nutrientes juntamente com a incorporação de resíduos ricos em C aumentou em até três vezes a quantidade de C associada à fração estável da MOS (na fração mais fina do solo). Por outro lado, estudos demonstraram que, em determinadas circunstâncias, a adição de fertilizantes ou de diferentes fontes de matéria orgânica leva a um aumento na taxa de decomposição da matéria orgânica nativa do solo (sendo este efeito conhecido como efeito *priming* positivo) (Kuzyakov et al., 2000; Resh et al., 2002), e que essa perda não é compensada pelo aumento da deposição, decomposição e estabilização da matéria orgânica recém-depositada (Kuzyakov et al., 2000; Sant-Anna et al., 2017).

A serrapilheira, precursora da matéria orgânica particulada (MOP), também é considerada um importante modulador de estabilização de C no solo. Nesse contexto, em sistemas de produção mais diversos, como os integrados, a entrada de resíduos de diferentes qualidades pode permitir armazenamento distinto de C no solo, especialmente se a eles forem incorporadas espécies vegetais que se

associam a bactérias diazotróficas (BFN), ou seja, que fixam N_2 do ar (Sisti et al., 2004; Balieiro et al., 2020; Li et al., 2023). Diante da escassez de trabalhos sobre o efeito da serrapilheira de espécies arbóreas utilizadas em sistemas silvipastoris sobre as frações orgânicas do solo, foi proposto este estudo. Avaliamos as espécies *Eucalyptus grandis* (eucalipto), comumente utilizado em sistemas integrados pecuária-floresta e lavoura-pecuária-floresta, e a *Acacia mangium* (acácia), muito utilizada na recuperação de áreas degradadas e com potencial de crescimento equivalente ao eucalipto, além de ser capaz de fixar N_2 da atmosfera, em associação com BFN. Essas espécies diferem em termos de qualidade da serrapilheira. O eucalipto apresenta maior razão C:N, menor razão N:P e C:P, além de menor teor de lignina e celulose em comparação com a acácia (Santos et al., 2018; Balieiro et al., 2020).

Este estudo avalia como as folhas senescentes de cada espécie afetam os teores de C e N (em $g\ kg^{-1}$) da matéria orgânica particulada (MOP) e da matéria orgânica associada aos minerais (MOAM) quando nutrientes (N, P e S), que intensificam o processo de humificação, são aplicados ao solo. A hipótese é que, em curto prazo, o C da fração fina (MOAM) será incrementado com a adubação do solo com N, P e S e que os resíduos das espécies (serrapilheira) terão efeito secundário nessa resposta.

Este trabalho atende ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 — Fome Zero e Agricultura Sustentável — estipulado pelas Nações Unidas (ONU), mais especificamente à meta associada à garantia da sustentabilidade dos sistemas de produção de alimentos e à implantação de práticas agrícolas resilientes, que pretende, além de alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição, promover a agricultura sustentável e acabar com a fome.

Caracterização das amostras e condução do experimento

Amostra do horizonte superficial (0–20 cm) de um Argissolo Amarelo, classificado segundo o SiBCS (Santos et al., 2025), sob pastagem com braquiária (*Urochloa brizantha*), foi coletada no município de Valença, RJ (22°22'29"S 43°42'26"O, 350 m). Aproximadamente 100 kg de solo foram coletados em um local da pastagem de forma a compor uma amostra o mais homogênea possível, sendo ela seca ao ar e peneirada (<4 mm) para remover material orgânico grosseiro e manter a estrutura física dos agregados.

Folhas recém depositadas da camada L (do inglês, *litter*) (Kindel et al., 2003) da serrapilheira

foram coletadas diretamente em plantios antigos (~30 anos) de *Eucalyptus grandis* (eucalipto) e de *Acacia mangium* (acácia), localizados em Seropédica, RJ (22°45'26"S 43°40'10"O 29 m). Estas foram secas, moídas e caracterizadas quimicamente, conforme Malavolta et al. (1997) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química da serrapilheira.

Elemento	Eucalipto	Acácia
C ($g\ kg^{-1}$)	474,70	514,10
N ($g\ kg^{-1}$)	10,83	19,07
P ($g\ kg^{-1}$)	0,73	0,23
C:N	43,80	27,00
C:P	650,30	2.235,20
N:P	14,80	82,90
S ($g\ kg^{-1}$)	1,24	1,04

O estudo foi conduzido em laboratório, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram organizados pela combinação de dois fatores principais (serrapilheira de espécie arbórea e nível de fertilizante), além de um tratamento controle absoluto (controle), sem adubação e sem adição de serrapilheira. O primeiro fator foi representado pela serrapilheira de acácia e eucalipto (ACA e EUC, respectivamente), e o segundo por três níveis de adubação, equivalentes a 0, 1x e 2x as doses recomendadas (que, combinados, deram origem aos tratamentos: EUCD0, EUCD1, EUCD2 e ACAD0, ACAD1 e ACAD2) para atingir a relação estequiométrica C:N:P:S aproximada do húmus de 10.000:833:200:143 (Himes, 1998; Kirkby et al., 2011).

Foi utilizada a massa equivalente ao aporte de 8 Mg ha^{-1} de serrapilheira (massa que representa o total anual aportado em cultivos de eucalipto), corrigida pela área de solo exposto do vaso (com área superficial de 78,54 cm^2). Os materiais vegetais de cada espécie foram moídos grosseiramente (<1 mm), secos a 50°C, para serem homogeneizados em toda a massa de solo dos vasos.

Tendo como únicas fontes de C a serrapilheira de eucalipto e de acácia, uma solução nutritiva foi aplicada para corrigir as proporções de nutrientes visando simular 1 e 2 vezes a estequiometria do húmus. A quantidade de nutrientes adicionais (N, P e S) foi calculada com base na estequiometria sugerida por Kirkby et al. (2011), descontando os teores desses elementos fornecidos pela serrapilheira de cada espécie (Tabela 1). Para o experimento, foi utilizada uma taxa de humificação de 30% do C aplicado. A solução

nutritiva foi composta por sulfato de amônio, fosfato de potássio e nitrato de amônio. A quantidade de nutrientes nas amostras de solo (fertilidade natural) não foi considerada no cálculo da solução.

As unidades experimentais, compostas por vasos contendo 200 g de mistura solo + serrapilheira, foram mantidas no escuro, à temperatura de 23 °C, por 180 dias. Antes da incubação, o solo teve sua umidade corrigida para 70% da capacidade de campo, sendo a umidade ajustada quinzenalmente durante todo o período do experimento. Após 180 dias, foi retirada uma subamostra (~30 g) de cada vaso para secagem e posterior fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS), para caracterização dos teores de C e N totais.

O fracionamento seguiu o procedimento descrito por Cambardella e Elliott (1992) modificado. Uma alíquota de 20 g do solo foi dispersa com NaOH 1 mol L⁻¹, separando a fração da matéria orgânica particulada (MOP) da fração mais fina associada aos minerais do solo (MOAM) por meio de peneiramento (53 µm). Ambas as frações foram colocadas em estufa (60 °C) e, quando secas, moídas até uma textura semelhante a talco. As frações MOP e MOAM foram pesadas em cápsulas de estanho e caracterizadas quimicamente quanto ao teor total de N e C, usando um analisador elementar Perkin Elmer acoplado a um espectrômetro de massas (Finnigan, modelo Delta Plus).

O C e N orgânicos totais (ambos em g kg⁻¹) para cada fração da matéria orgânica (MOP e MOAM), separadamente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), após a confirmação da normalidade dos dados e da homogeneidade. Os principais fatores foram a origem da serrapilheira (eucalipto e acácia), as doses de fertilizante utilizadas (0, 1 e 2 vezes as doses recomendadas para aproximar a estequiometria do húmus) e a interação desses fatores. O teste de comparações múltiplas de médias de Tukey seguiu a ANOVA quando o valor de F foi significativo a 5% de probabilidade. Para a comparação das médias dos tratamentos com o tratamento controle (sem adição de serrapilheira e nutrientes), o teste de Dunnett foi utilizado a 5% de significância.

Carbono nas frações da matéria orgânica do solo

Na ausência e na presença da adição dos adubos minerais, verifica-se que os teores de C das frações orgânicas MOAM dos três tratamentos EUC (D0, D1 e D2) diferiram do tratamento controle, enquanto para os tratamentos com acácia, apenas o ACAD1 apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) (letras maiúsculas da Figura 1). Assim, a adubação mineral teve efeito positivo parcial nos tratamentos com a acácia (Figura 1).

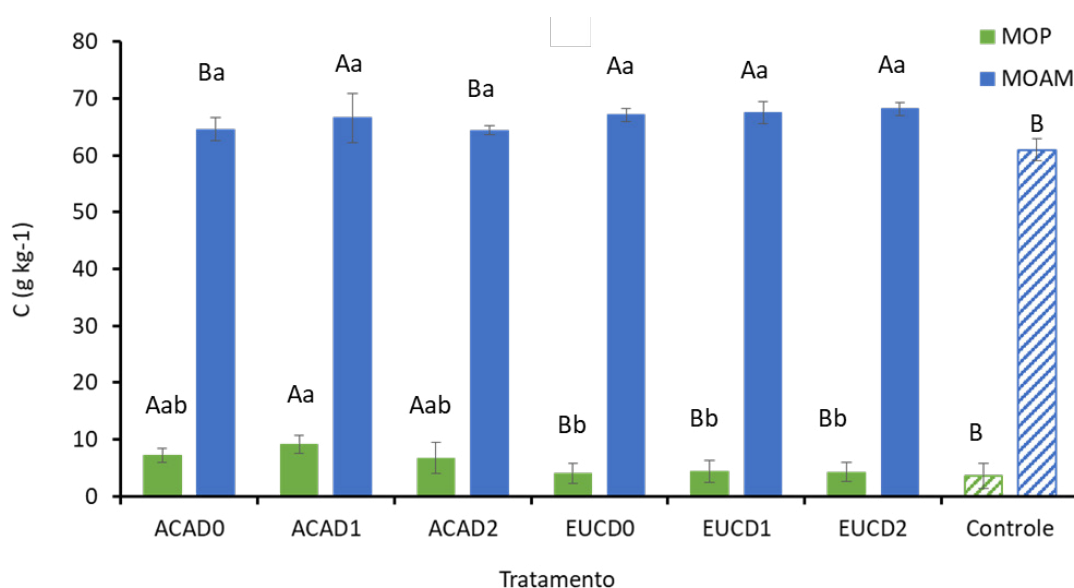


Figura 1. Teores de C (g kg⁻¹) nas frações da matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MOAM) (média ± desvio-padrão) em função da serrapilheira adicionada (ACA = *Acacia mangium* ou EUC = *Eucalyptus grandis*) e doses de nutrientes (D0, D1 e D2, equivalentes a 0, 1x e 2x as doses recomendadas de N, P e S para atingimento da estequiometria do húmus). Letras maiúsculas comparam os tratamentos em relação ao controle (teste de Dunnett, 5% de probabilidade) e letras minúsculas comparam apenas os tratamentos, sem o tratamento controle (pelo teste de Tukey, 5% de probabilidade).

Esses resultados podem ser corroborados parcialmente pelos achados de Rittl et al. (2015), Santos et al. (2018), Rachid et al. (2023), que descrevem que, não apenas a alta relação N:P da acácia desfavorece a sua decomposição, como também o fato de seus resíduos possuírem menos C alifático do que os resíduos de eucalipto (Novotny et al., 2013), o que dificulta o crescimento e a atividade microbiana, limitando que seus metabólitos sejam complexados na matriz do solo e, consequentemente, estabilizados na MOS.

Perda de C (redução de $0,16 \text{ g kg}^{-1}$) foi observada quando folhas da leguminosa foram associadas à maior dose de nutriente aplicada na fração MOAM. Por outro lado, a recalcitrância dos resíduos da acácia favoreceu o armazenamento de C no compartimento particulado (MOP) (ver a seguir).

Quando se avaliam os tratamentos excluindo-se o tratamento controle, verifica-se que não houve diferenças estatísticas entre todos os tratamentos para o teor de C da fração MOAM (letras minúsculas da Figura 1).

Para a matéria orgânica particulada (MOP), verifica-se que os tratamentos com adubação não diferiram quando a serrapilheira era derivada do eucalipto, o que não aconteceu para os tratamentos com a serrapilheira da acácia, em que todos os tratamentos diferiram ($p < 0,05$) em relação ao tratamento controle (Figura 1). Por outro lado, quando se exclui o tratamento controle da análise, somente o tratamento ACAD1 apresentou resultados diferentes estatisticamente significativos ($p < 0,05$) em relação

aos do eucalipto, mas não entre os tratamentos com a serrapilheira da acácia.

Nitrogênio nas frações da matéria orgânica do solo

Para a matéria orgânica associada aos minerais (MOAM), a entrada de serrapilheira associada ou não à adição de nutrientes ao solo incrementou os teores de N de forma significativa ($p < 0,05$) em relação ao tratamento controle (Figura 2). Excluindo o tratamento controle, porém, observa-se uma resposta diferenciada para as serrapilheiras de eucalipto e acácia. A entrada de nutrientes (D1 e D2), quando associadas à serrapilheira do eucalipto, incrementou de forma significativa os teores de N da fração MOAM em relação aos demais tratamentos (Figura 2). O ganho médio de N na MOAM devido à adubação foi de $0,40 \text{ g kg}^{-1}$ e foi significativo somente na dose 2x.

Para a matéria orgânica particulada (MOP), não foram observadas diferenças significativas para os teores de N dos tratamentos em relação ao controle, nem excluindo-o da análise estatística (Figura 2). Esse resultado pode ser corroborado por trabalhos de outros pesquisadores (Bachega et al., 2018; Santos et al., 2018; Balieiro et al., 2020; Rachid et al., 2023), que evidenciaram menor taxa de decomposição da serrapilheira da acácia relativamente à do eucalipto. Embora os resíduos da

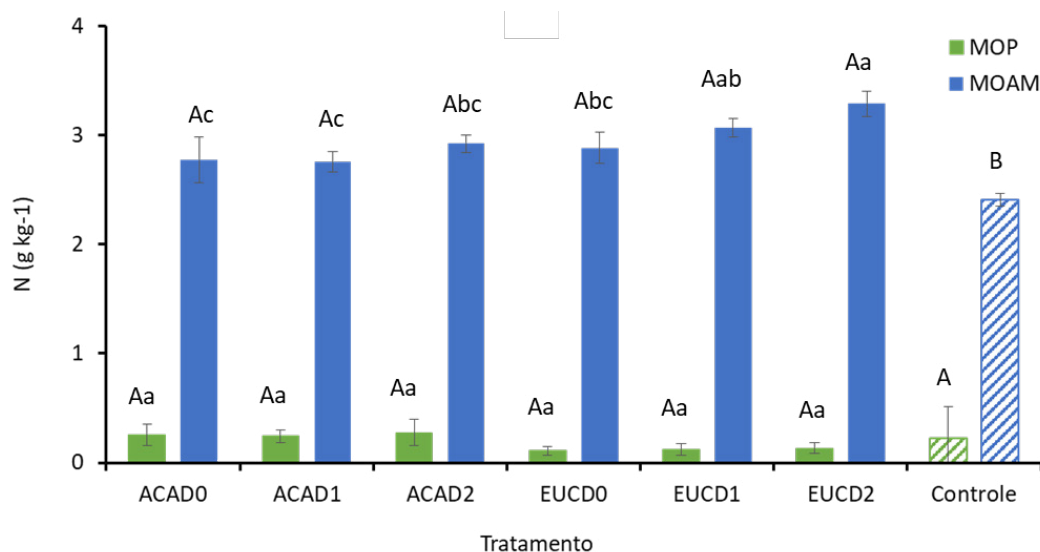


Figura 2. Teores de N (g kg^{-1}) nas frações da matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MOAM) (média $\pm$ desvio-padrão) em função da serrapilheira adicionada (ACA = *Acacia mangium* ou EUC = *Eucalyptus grandis*) e doses de nutrientes (D0, D1 e D2, equivalentes a 0, 1x e 2x as doses recomendadas de N, P e S para atingimento da estequiometria do húmus. Letras maiúsculas comparam os tratamentos em relação ao controle (teste de Dunnett, 5% de probabilidade) e letras minúsculas comparam apenas os tratamentos, sem o tratamento controle (pelo teste de Tukey, 5% de probabilidade).

acácia sejam mais ricos em N, sua menor taxa de decomposição tem sido associada à concentração baixa de P, que colapsa as comunidades decompositoras pela alta relação N:P (Hättenschwiler et al., 2011; Santos et al., 2018; Balieiro et al., 2020). Dessa forma, sua rápida dinâmica no solo indica que uma maior imobilização do N original dos resíduos e aplicado, via solução, se deu quando folhas de eucalipto foram adicionadas aos vasos, se revertendo num maior incremento de N na fração MOAM.

Apesar de os ganhos com a entrada de nutrientes terem sido reduzidos em condição de laboratório, ficou evidente que resíduos menos recalcitrantes, ou seja, com mais carbono solúvel ou alifático, favorecem o acúmulo de C na fração mais estável da MOS. Assim, a escolha das espécies arbóreas em sistemas integrados pode afetar a magnitude do processo de humificação da MOS.

Estes resultados contrastam com os de outros autores que observaram aumento expressivo da humificação (ver Kirkby et al., 2014). Porém, os solos em que esses resultados foram encontrados são mineralogicamente muito diferentes do solo usado neste estudo, já que possuem elevado poder de adsorção de P e S. Outro fator que pode ter levado à divergência de resultados é o tempo de experimentação, já que os estudos conduzidos por Kirkby et al. (2014) duraram 3 anos e este, 6 meses.

Finalizando, embora *Acacia mangium* possua características e qualidades, como a capacidade de fixar N₂ atmosférico em associação simbiótica com bactérias diazotróficas, possuir rápido crescimento e associações micorrízicas, seu uso em pastagens, e especialmente no Brasil, deve ser questionado. Isso porque, além de o aumento dos estoques de C do solo com a introdução da espécie ter sido incipiente neste estudo e em outros desenvolvidos em plantações florestais (Balieiro et al., 2020), a espécie pode ter potencial invasor, a depender do manejo e do ambiente. Descortina-se uma nova linha de trabalho, na qual traços funcionais da parte aérea e subterrânea de espécies arbóreas exóticas e especialmente nativas devem ser estudados, visando ao incremento do fluxo de C para o solo.

Considerações finais

A qualidade da serrapilheira de espécies arbóreas selecionadas para sistemas integrados de produção agropecuária pode alterar os teores de C e N de

frações da MOS. Neste estudo, a recalcitrância dos resíduos de acácia favoreceu o armazenamento de C na fração particulada da matéria orgânica (MOP) em solo de pastagem. Embora o efeito da entrada de serrapilheira tenha se sobressaído no processo de humificação e estabilização do C no solo em comparação à adubação, a adubação mostrou-se importante moduladora da estabilização do C no solo, especialmente quando ao solo é adicionada serrapilheira com mais carbono lábil, ou seja, a do eucalipto. Considerando os ganhos relativos nas frações MOP e MOAM, a adição de nutrientes aumentou em 20% e 1,5% os seus teores de C quando a serrapilheira de acácia foi adicionada ao solo e em 7,3% e 1,1%, com adição de eucalipto. Para o N, foram observados incrementos da ordem de apenas 3,3% e 2,8% quando a serrapilheira da leguminosa foi associada à adição de nutrientes para MOP e MOAM, respectivamente, e de 8,6% e 12,2% quando os resíduos do eucalipto foram adicionados ao solo.

Não obstante, é importante salientar que resíduos mais recalcitrantes são fontes de C de médio e longo prazos para a biota, especialmente se estiverem oclusos em agregados do solo. Estudos de adubação que respeitem a estequiometria do húmus devem ser realizados em campo, pois, segundo alguns autores (Sokol; Bradford, 2019), essa abordagem tem sido relacionada à maior eficiência de formação de C do solo estabilizado por minerais pelas comunidades microbianas da rizosfera, em comparação à comunidade do solo em geral.

Neste estudo, ficou evidente que a serrapilheira do eucalipto favoreceu mais o processo de humificação do que a leguminosa (*Acacia mangium*) e que a adição de nutrientes favoreceu tal processo.

Agradecimentos

Os autores FCB agradecem a Bolsa de Produtividade do CNPq, GHSM e RNSB a Bolsa PIBIC/CNPq. Os autores agradecem os recursos advindos do projeto “Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em bovinocultura de leite na Mata Atlântica” (financiado pela Embrapa, nº 20.20.03.040.00.00 e cofinanciado pela Rede iLPF) e o apoio do projeto “Carbono do solo fluminense: Espacialização e práticas para potencialização de transições financeiras baseadas em seus estoques” (financiado pela Embrapa, nº 20.24.00.027.00.00 e cofinanciado pelo Future Fund da Climate Group Under2 Coalition e Fundo da Mata Atlântica), fruto do Acordo de Cooperação Técnica entre a Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade do Rio de Janeiro e a Embrapa Solos, nº 25100.23/0109-8.

Referências

- BACHEGA, L. R.; BOUILLET, J.-P.; PICCOLO, M. de C.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUVET, J.-M.; NOUVELLON, Y.; GONÇALVES, J. L. de M.; ROBIN, A.; LACLAU, J.-P. Decomposition of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* leaves and fine roots in tropical conditions did not meet the home field advantage hypothesis. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 33-43, Jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.026>.
- BALIEIRO, F. de C.; CESÁRIO, F. V.; SANTOS, F. M. Litter decomposition and soil carbon stocks in mixed plantations of *Eucalyptus* spp. and nitrogen-fixing trees. In: CARDOSO, E. J. B. N.; GONÇALVES, J. L. de M.; BALIEIRO, F. de C.; FRANCO, A. A. (ed.). **Mixed plantations of Eucalyptus and leguminous trees: soil, microbiology and ecosystem services**. Cham: Springer, 2020. cap. 4, p. 57-90. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-32365-3_4.
- CAMBARDELLA, C.; ELLIOTT, E. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, May-Jun. 1992. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>.
- CHAEER, G. M.; MENDES, I. C.; DANTAS, O. D.; MALAQUIAS, J. V.; REIS JUNIOR, F. B. dos; OLIVEIRA, M. I. L. Evaluating C trends in clayey Cerrado Oxisols using a four-quadrant model based on specific arylsulfatase and β -Glucosidase activities. **Applied Soil Ecology**, v. 183, 104742, Mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104742>.
- HÄTTENSCHWILER, S.; COQ, S.; BARANTAL, S.; HANDA, I. T. Leaf traits and decomposition in tropical rainforests: revisiting some commonly held views and towards a new hypothesis. **New Phytologist**, v. 189, n. 4, p. 950-965, Mar. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03483.x>.
- HIMES, F. L. Nitrogen, sulfur, and phosphorus and the sequestering of carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1998. cap. 21, p. 315-319. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203739273-21>.
- KINDEL, A.; GARAY, I.; CARMO, C. A. F. de S. do; LIMA, J. A. de S. **Quantificação dos horizontes húmicos e dinâmica da decomposição de material foliar em solos florestais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 8 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 21). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/337070>. Acesso em: 23 set. 2025.
- KIRKBY, C. A.; KIRKEGAARD, J. A.; RICHARDSON, A. E.; WADE, L. J.; BLANCHARD, C.; BATTEN, G. Stable soil organic matter: a comparison of C:N:P:S ratios in Australian and other world soils. **Geoderma**, v. 163, n. 3/4, p. 197-208, Jul. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.04.010>.
- KIRKBY, C. A.; RICHARDSON, A. E.; WADE, L. J.; PASSIOURA, J. B.; BATTEN, G. D.; BLANCHARD, C.; KIRKEGAARD, J. A. Nutrient availability limits carbon sequestration in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 402-409, Jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.032>.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, n. 11/12, p. 1485-1498, Oct. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00084-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00084-5).
- LI, J.; LIU, Z.-F.; JIN, M.-K.; ZHANG, W.; LAMBERS, H.; HUI, D.; LIANG, C.; ZHANG, J.; WU, D.; SARDANS, J.; PEÑUELAS, J.; PETTICORD, D. F.; FREY, D. W.; ZHU, Y.-G. Microbial controls over soil priming effects under chronic nitrogen and phosphorus additions in subtropical forests. **The ISME Journal**, v. 17, n. 12, p. 2160-2168, Dec. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41396-023-01523-9>.
- LISBOA, F. J. G.; CHAEER, G. M.; FERNANDES, M. F.; BERBARA, R. L. L.; MADARI, B. E. The match between microbial community structure and soil properties is modulated by land use types and sample origin within an integrated agroecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 78, p. 97-108, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.017>.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018. 23 p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 38). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1110832>. Acesso em: 29 set. 2025.
- NOVOTNY, E. H.; RODRIGUES, A. F.; BALIEIRO, F. de C.; FREITAS, T. B. de; CHAEER, G. M.; RACHID, C. T. C. C. Avaliação das alterações estruturais da serapilheira de florestas plantadas em decomposição por meio da espectroscopia vibracional (FTIR) aliada à análise de componentes principais (PCA). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 10., 2013, Santo Antônio de Goiás. **Matéria orgânica e qualidade ambiental: anais**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 48-51.
- RACHID, C. T. C. C.; BALIEIRO, F. de C.; PEIXOTO, R. S.; FONSECA, E. S.; JESUS, H. E.; NOVOTNY, E. H.; CHAEER, G. M.; SANTOS, F. M.; TIEDJE, J. M.;

ROSADO, A. S. Mycobiome structure does not affect field litter decomposition in Eucalyptus and Acacia plantations. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, 1106422, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1106422>.

RESH, S. C.; BINKLEY, D.; PARROTTA, J. A. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with Eucalyptus species. **Ecosystems**, v. 5, p. 217-231, Apr. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0067-3>.

RITTL, T. F.; NOVOTNY, E. H.; BALIEIRO, F. de C.; HOFFLAND, E.; ALVES, B. J. R.; KUYPER, T. W. Negative priming of native soil organic carbon mineralization by oilseed biochars of contrasting quality. **European Journal of Soil Science**, v. 66, n. 4, p. 714-721, Jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12257>.

SANTOS, F. M.; BALIEIRO, F. de C.; MARCELO ANTONIOL FONTES; CHAER, G. M. Understanding the enhanced litter decomposition of mixed-species plantations of Eucalyptus and Acacia mangium. **Plant and Soil**, v. 423, n. 1/2, p. 141-155, Feb. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3491-7>.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1176834>. Acesso em: 29 set. 2025.

SANT-ANNA, S. A. C. de; JANTALIA, C. P.; SA, J. M.; VILELA, L.; MARCHAO, R. L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, p. 101-120, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9812-z>.

SARTO, M. V. M.; BORGES, W. L. B.; SARTO, J. R. W.; RICE, C. W.; ROSOLEM, C. A. Deep soil carbon stock, origin, and root interaction in a tropical integrated crop-livestock system. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 1865-1877, May 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00505-6>.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, Mar. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>.

SOKOL, N. W.; BRADFORD, M. A. Microbial formation of stable soil carbon is more efficient from belowground than aboveground input. **Nature Geoscience**, v. 12, p. 46-53, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0258-6>.

VANDEGINSTE, B. G. M.; MASSART, D. L.; BUYDENS, L. M. C.; DE JONG, S.; LEWI, P. J.; SMEYERS-VERBEKE, J. Relations between measurement tables. In: VANDEGINSTE, B. G. M.; MASSART, D. L.; BUYDENS, L. M. C.; DE JONG, S.; LEWI, P. J.; SMEYERS-VERBEKE, J. (ed.). **Handbook of chemometrics and qualimetrics: part B**. Amsterdam: Elsevier, 1998. cap. 35, p. 307-347. (Data handling in science and technology, v. 20B). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0922-3487\(98\)80045-2](https://doi.org/10.1016/S0922-3487(98)80045-2).

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024
Jardim Botânico
22460-000 Rio de Janeiro, RJ
www.embrapa.br/solos
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente: Cláudia Pozzi Jantalia

Secretário-executivo: Marcos Antônio Nakayama

Membros: Bernadete da Conceição Carvalho Gomes Pedreira, David Vilas Boas de Campos, Evaldo de Paiva Lima, Helga Restum Hissa, José Francisco Lumbieras, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Lucia Raquel Queiroz Pereira da Luz, Maurício Rizzato Coelho e Wenceslau Gerales Teixeira

Comunicado Técnico 89

ISSN 1517-5685 / e-ISSN 2966-2486
Novembro, 2025

Edição executiva: Marcos Antônio Nakayama

Revisão de texto: Marcos Antônio Nakayama

Normalização bibliográfica: Luciana Sampaio de Araujo (CRB-7/5165)

Projeto gráfico: Leandro Sousa Fazio

Diagramação: Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Publicação digital: PDF



Ministério da
Agricultura e Pecuária

Todos os direitos reservados à Embrapa.