

ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO NO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ

Giulia Karolline Kaminski^{1*}, Josileia Acordi Zanatta², Vanderley Porfirio da Silva²

¹Bolsista da Embrapa Florestas; ²Pesquisadores Embrapa Florestas. *giulia.kkaminski@gmail.com

RESUMO

No Brasil, pastagens de baixo vigor contribuem para perdas de carbono no solo, intensificando os efeitos da mudança climática. Como estratégia de mitigação, o programa Agricultura de Baixo Carbono estimula a adoção de sistemas de integração, como o silvipastoril. Este estudo avaliou o acúmulo de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo em diferentes sistemas de uso do solo no Paraná. Foram analisadas amostras de solo de 0-100 cm em áreas de pastagem, floresta plantada, agricultura e sistema silvipastoril, para a quantificação de C e N por combustão seca e análise estatística por ANOVA e teste de Tukey. O sistema silvipastoril apresentou o maior acúmulo de C no solo, com 71,23 t/ha (0-30 cm) e 145,27 t/ha (0-100 cm), enquanto o teor de N atingiu 7,14 t/ha (0-30 cm) e 16,05 t/ha (0-100 cm). Conclui-se que sistemas de integração são eficazes na retenção de C e N no solo, promovendo sustentabilidade e mitigação de impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Silvipastoril; Sistemas de integração; Carbono acumulado.

INTRODUÇÃO

Devido às mudanças no uso da terra, à agropecuária e à energia, uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa está relacionada a produção agrícola principalmente (Viola e Mendes, 2022). No país, as pastagens representam o principal uso da terra, com cerca de 51% dessas áreas apresentam média e baixo vigor (MapBiomass, 2024). Esse cenário contribui para a perda de carbono no solo, agravando as emissões e o fenômeno da mudança climática. Embora sejam aplicados manejos em pastagens degradadas, há uma necessidade urgente de novas soluções para mitigar essa perda de carbono associada à pecuária. Nesse contexto, o governo brasileiro implementou o programa "Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária" (ABC+), com o objetivo de promover um desenvolvimento sustentável. O programa incentiva práticas agrícolas sustentáveis, como a recuperação e renovação de pastagens de baixo vigor, o uso de sistemas de plantio direto e integração, além da adoção de bioinsumos e do manejo adequado de resíduos da produção animal. Essas ações visam tornar os sistemas produtivos mais sustentáveis, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e garantir a produção de alimentos de qualidade.

Os sistemas de integração são estratégias que adotam princípios de conservação do solo, sendo utilizados na recuperação de pastagens degradadas e produção agrícola sustentável. Sistemas de integração (ex: ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; ILP – Integração Lavoura-Pecuária; IPF – Integração Pecuária-Floresta) aumentam a complexidade do sistema, a sustentabilidade da produção agrícola, diversificam a produção e aumentam a produtividade agrícola (Balbino *et al.*, 2011; Bieluczyk *et al.*, 2020; Brasil, 2023).

O solo é um importante reservatório de C, contribuindo para o sequestro global desse elemento e mitigando os impactos da mudança climática (Yang *et al.*, 2025). Além do C, o N presente no solo desempenha um papel crucial na capacidade do solo em sequestrar C. Assim, compreender as variações nos estoques de C e N em sistemas silvipastoris, em comparação com florestas plantadas, agricultura e pastagens convencionais no Estado do Paraná, é essencial para avaliar o potencial do sistema silvipastoril no sequestro de C da atmosfera e quantificar a contribuição do estado ao programa ABC+.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi realizado no município de Sapopema, situado na Região Norte do Paraná, Brasil (23°54'S, 50°34'W, altitude 705m). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa) (Köppen) e precipitação anual entre 1400mm a 1600mm (Nitsche *et al.*, 2019). A área experimental foi dividida em parcelas onde foram avaliados os seguintes sistemas: pastagem convencional (*Brachiaria brizantha*), povoamento florestal, agricultura (plantio direto com rotação de culturas soja e milho) e sistema silvipastoril. O sistema silvipastoril foi instalado em janeiro de 2013, formado por renques com 5 linhas de eucalipto, 3m de distância entre linhas, 1,5m entre árvores e 20m entre renques, implantado em uma área de pastagem.

As amostras de solo foram coletadas manualmente em 2021 quando o sistema silvipastoril estava programado para colheita das árvores com 8 anos. O solo foi amostrado por meio de trincheiras, nas camadas 0-5, 5-10-, 10-2-, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm. Em cada ponto de amostragem o solo foi coletado com espátula, destorroado, seco em estufa a 45°C, moído e peneirado para 2mm. Uma porção desse solo foi finamente moído (<250µm) para proceder a análise de Carbono. Subamostras de solo não perturbadas foram coletadas de cada camada para determinar a densidade do solo pelo método do cilindro volumétrico (Teixeira *et al.*, 2017).

As amostras secas ao ar, moídas e peneiradas (≤250 µm) foram submetidas a combustão seca (Vario Macri Cube, Elementar Analyser) para determinar o carbono total do solo. Para cada uso do solo foram analisadas 12 réplicas de solo nas camadas 0-30 cm e para as camadas de 30-100 cm. Para determinar os estoques de carbono e nitrogênio, os dados foram corrigidos a partir da massa equivalente de solo (Sisti *et al.*, 2004).

Os dados foram testados, cumprindo a suposição de normalidade. Foram realizadas análises de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 10$). Todas as análises foram realizadas no programa R Studio, considerando blocos inteiramente casualizados, com 3 repetições por bloco

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema silvipastoril apresentou efeito positivo no acúmulo de carbono no solo, quando comparado aos demais sistemas (Figura 1A). No sistema silvipastoril, o aumento de carbono acumulado no solo foi significativamente maior (71,23 t/ha de C), com um incremento de aproximadamente 23,06% em relação aos sistemas de povoamento florestal de 5,51% em reação a pastagem convencional. O sistema silvipastoril não apresentou diferença significativa em relação às áreas com agricultura (73,16 t/ha de C), isso provavelmente se deve ao fato de que no cultivo de espécies agrícolas há a adição de fertilizantes, rotação de culturas e sistema de plantio direto, acarretando o aumento de resíduos orgânicos e consequentemente garantindo o incremento dos estoques de C e N no solo. Além disso, o sombreamento promovido pelo sistema silvipastoril reduz a temperatura do solo, beneficiando o crescimento vegetal e a atividade microbiana, o que potencializa o sequestro de carbono (Paciullo *et al.*, 2008).

O teor de N (Figura 1B) não apresentou diferença significativa entre os sistemas avaliados. No entanto, apresenta um aumento de no mínimo 8% no sistema silvipastoril (7,14 t/ha de N) em relação a pastagem convencional. Os sistemas de uso agrícola e silvipastoril apresentaram as maiores quantidade de N, provavelmente em decorrência da presença de adubação nitrogenadas realizadas na implantação das culturas, rotação com leguminosas (sistema agricultura) e dejetos bovinos ricos em N (sistema IPF). O N é um elemento que frequentemente limita o acúmulo de carbono no solo devido seu efeito na produção vegetal, como reflexo da maior atividade fotossintética, que leva ao maior acúmulo de biomassa vegetal (Yang *et al.*, 2025), e pode promover acréscimo de C no solo (Stefano e Jacobson, 2018).

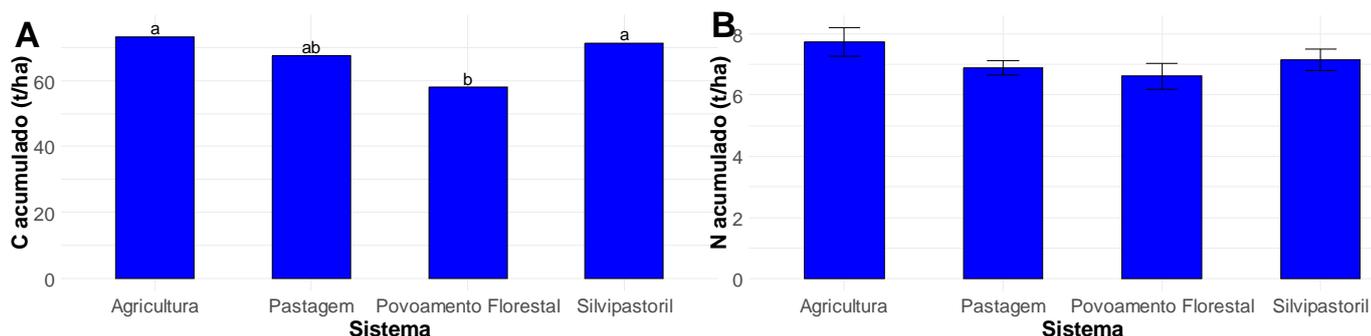


Figura 1. Estoque de carbono (A) e nitrogênio (B) acumulados em t/ha na camada de 0-30 cm em diferentes sistemas de uso do solo.

Apesar de não haver diferença significativa no aumento de C sequestrado do solo e de N (Figura 2A e 2B) na camada de 0-100 cm, o sistema IPF (145, 27 t/ha de C) levou ao aumento de no mínimo 9% do estoque de carbono em relação aos demais sistemas. Comportamento semelhante foi observado em relação ao N, onde é possível observar um acréscimo de no mínimo 5% de N no sistema IPF (16,05 t/ha de N) em relação ao demais. Esse aumento provavelmente está relacionado com a concentração de raízes de eucaliptos e braquiária em maior profundidade.

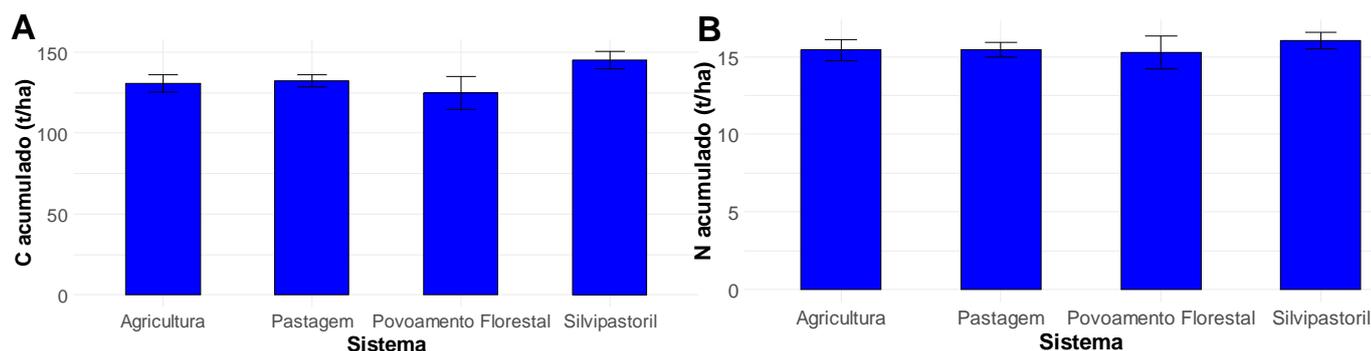


Figura 2. Estoque de carbono (A) e nitrogênio (B) acumulados em t/ha na camada de 0-100 cm em diferentes sistemas de uso do solo.

O sistema IPF, provavelmente por ser bem manejado, contribui para aumento do carbono do solo pelo adição constante da braquiária, estimulada pelo pastejo e com sistema radicular profundo, aumentando a quantidade de matéria orgânica em profundidade (Bieluczyk *et al.*, 2017), além disso no sistema IPF a presença de eucaliptos pode contribuir com o aumento na concentração de C em profundidade, devido a decomposição das raízes e a liberação de exsudatos radiculares, e raízes finas de eucaliptos com comprimento de ~3m apresentam alta relação C:N, aumentando o teor de matéria orgânica e consequentemente a concentração de C (Bieluczyk *et al.*, 2018).

CONCLUSÕES

O sistema IPF (integração pecuária-floresta) apresentou maior acúmulo de C e N no solo, semelhante ao verificado no sistema agrícola, cuja adição de insumos é relativamente maior e frequente. Isso demonstra a maior eficiência do sistema IPF na utilização dos nutrientes em favor de manter a produtividade e a atividade biológica efetiva pelo acúmulo de carbono e nitrogênio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Klabin S.A. e a Embrapa (20.21.00.030.00.00) pela parceria no desenvolvimento do projeto.

BIBLIOGRAFIA

BIELUCZYK, W. **Crescimento e decomposição de raízes finas e qualidade do solo sob sistemas integrados de agricultura, pecuária e floresta (São Carlos – SP)**. 2018. 153f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BIELUCZYK, W.; PEREIRA, M.G.; GUARESCHI, R.F.; BONETTI, J.A.; SILVA, G.N.; SILVA NETO, E.C. Soil carbon and nitrogen stocks, light organic matter, and remaining phosphorus under a crop-livestock integration system. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 1825-1840, 2017.

BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M.C.; PEREIRA, M.G.; MORAES, M.T.; SOLTANGHEISI, A.; BERNARDI, A.C.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; MOREIRA, M.Z.; CAMARGO, P.B.; DIAS, C.T.S.; BATISTA, I.; CHERUBIN, M.R. Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 371, 2020.

BRASIL. **National Plan for Low Carbon Emission in Agriculture (ABC Plan)**. 2018. Disponível em: <http://redd.mma.gov.br/en/legal-and-public-policy-framework/national-plan-for-low-carbon-emission-in-agriculture-abc-plan>. Acessado em: 20 de fevereiro, 2025.

NITSCHKE, P.R.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W.S.; PINTO, L.F.D. Atlas Climático do Estado do Paraná. **Instituto Agrônomo do Estado do Paraná**. 2019.

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; TAVELA, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 919-923, 2008.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª edição, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos. Brasília, 2017. P. 65-75.

SISTI, C.P.; SANTOS, H.P.; 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 and Tillage Research**, v. 76, p. 39-58, 2004.

STEFANO, A.; JACOBSON, M.G. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. **Agroforestry Systems**, v. 92, p. 285-299, 2018.

VIOLA, E.; MENDES, V. Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, p. 1-20, 2022.

YANG, X.; MA, S.; HUANG, E.; ZHANG, D.; CHEN, G.; ZHU, J.; JI, C.; ZHU, B.; LIU, L.; FANG, J. Nitrogen addition promotes soil carbon accumulation globally. **Science China Life Sciences**, v. 68, n. 1, p. 284-293, 2025.