



UNICAMP



QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL NA REGIÃO AMAZÔNICA

Palavras-chave: Degradação ambiental, atributos do solo, macrofauna edáfica, bioindicadores, agricultura sustentável.

Autores:

Pedro Lucas Sarmento Teixeira – Feagri/Unicamp

Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza – Feagri/Unicamp

INTRODUÇÃO:

O modelo agrícola atual, influenciado pela Revolução Verde, utiliza intensamente recursos naturais e insumos químicos, selecionando plantas e animais que respondem bem a eles (Ollinaaho; Kröger, 2021). Esse sistema aumentou a produção de alimentos, fibras e combustíveis, mas resultou em significativa degradação ambiental (Zhang et al., 2018). A deterioração do solo é um desafio global, manifestando-se principalmente como salinização e erosão, sendo esta, a forma mais comum (Borrelli et al., 2020) tendo em vista que a erosão remove a camada mais rica em nutrientes do solo, comprometendo sua fertilidade e estrutura (Marçal et al., 2022; Sumberg; Giller, 2022). Assim, solos degradados apresentam baixos níveis de matéria orgânica e alterações na densidade e porosidade (Farhate et al., 2020). A introdução de plantas e práticas agroflorestais pode aumentar a matéria orgânica do solo, melhorando sua qualidade (Cherubin et al., 2019), deste modo, as agroflorestas são vistas como solução para problemas como degradação do solo, perda de biodiversidade e emissões de gases de efeito estufa (Patel; Moore, 2017; Celentano et al., 2020; Newton et al., 2020). Este projeto propõe estudar áreas com diferentes Sistemas Agroflorestais e florestas naturais em Canutama e Humaitá, Amazonas, que sofrem impactos antrópicos, como a conversão de florestas em pastagens (Vidotto et al., 2007; Pavão et al., 2017). A hipótese é que Sistemas Agroflorestais melhoram a qualidade e a estrutura do Argissolo Vermelho-Amarelo, comparado às florestas naturais.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar o teor e estoque de carbono orgânico, resistência do solo à penetração e macrofauna do solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas sob diferentes Sistemas Agroflorestais (Sistemas Agrossilviculturais com Guaraná e Agrossilviculturais com Açaí + Cupuaçu), comparando com áreas floresta natural nos municípios de Canutama e Humaitá na região Sul do Amazonas.

Objetivos Específicos

Quantificar o teor e estoque de carbono do solo e a resistência do solo à penetração nos diferentes sistemas de manejo agroflorestal e floresta natural.

Avaliar a macrofauna edáfica como bioindicadora de qualidade de solo e recuperação estrutural em área de Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas agroflorestais e floresta nativa.

MATERIAL E MÉTODOS:

Localização e descrição da área de estudo

As áreas de estudo localizam-se na região Sul do Amazonas nos municípios de Canutama e Humaitá, sob as coordenadas geográficas aproximadas de 6°32' de latitude sul e 64°23' de longitude oeste e 7°30' de latitude sul e 63°01' de longitude oeste, respectivamente. De acordo com Alvares et al. (2013) às áreas de estudo estão situadas na mesma zona climática, segundo Köppen, pertencendo ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração. A pluviosidade está limitada pelas isoietas de 2.250 e 2.750 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25 e 27 °C e a umidade relativa fica entre 85 e 90%. Baseado no levantamento pedológico da área, o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo típico (SANTOS et al., 2018) com textura média (26-35% de argila).

Amostragens do solo

Foram selecionadas três áreas com diferentes sistemas de manejo: (i) SAF1 - sistema agrossilvicultural com guaraná; e (ii) SAF3 - sistema agrossilvicultural com açaí + cupuaçu e (iii) FN - Floresta Natural. Nesses locais serão estabelecidos um transecto onde os solos serão amostrados em quinze pontos equidistantes em cada um dos tratamentos, perfazendo um total de 45 pontos amostrais, esses pontos serão georreferenciados com um equipamento de GPS, em seguida serão coletadas amostras no transecto nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Análises dos resultados

Os dados foram submetidos à análise da variância (ANOVA) utilizando o software estatístico R Studio (1.1.463, R Foundation for Statistical Computing). As médias foram submetidas às comparações múltiplas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Análise do estoque de carbono

Na camada de 0,00-0,05 m, os maiores EC foram observados na floresta nativa que não difere do SAF1 com guaraná (Tabela 1). Em ecossistemas florestais, a fonte de substâncias orgânicas solúveis é a deposição de resíduos de plantas, que alcança o solo em forma de folhas, galhos e outros fragmentos orgânicos, bem como substâncias orgânicas derivadas da decomposição de raízes (POHLMAN; MCCOLL, 1988). Assim, os maiores índices de carbono orgânico encontrados no solo sob FN se devem, provavelmente, ao maior incremento das substâncias orgânicas no ambiente de mata nativa.

Tabela 1. Teor de carbono orgânico no solo e estoque de carbono nas camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, em áreas com diferentes usos e manejos no sul do Amazonas.

| Camada (m) | -----Tratamentos----- | | | | |
|---|-----------------------|---------|----------|---------|-----------|
| | SAF1 | SAF3 | FN | CV (%) | Pr>Fc |
| Carbono Orgânico (g dm⁻³) | | | | | |
| 0,00-0,05 | 28,54 a | 21,26 b | 30,66 a | 42,98 % | 0,00048** |
| 0,05-0,10 | 15,62 ab | 12,13 c | 18,39 a | 26,98 % | 0,00006** |
| 0,10-0,20 | 13,89 a | 11,53 b | 12,52 ab | 25,45 % | 0,00001** |
| 0,20-0,40 | 12,05 a | 9,64 c | 10,33 bc | 19,72 % | 0,00000** |

| Estoque de Carbono Orgânico corrigido (Mg ha⁻¹) | | | | | |
|---|---------|---------|----------|---------|-----------|
| 0,00-0,05 | 16,13 a | 12,01 b | 17,33 a | 42,98 % | 0,00048** |
| 0,05-0,10 | 8,75 b | 6,57 c | 10,30 a | 26,3 % | 0,00002** |
| 0,10-0,20 | 15,43 a | 12,79 b | 13,89 ab | 25,45 % | 0,00001** |
| 0,20-0,40 | 26,98 a | 21,59 c | 23,14 bc | 19,73 % | 0,00000** |

SAF1 = sistema agrossilvicultural com guaraná; SAF3 = sistema agrossilvicultural com cupuaçu + açaí; FN = floresta natural; CV = coeficiente de variação; ns = não significativo; ** e * = significantes no nível de probabilidade $P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente, pelo teste de Tukey.

Em todos os tratamentos os maiores teores de carbono orgânico no solo (CO) foram verificados nas camadas superficiais (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m), sendo que os valores máximos encontram-se na camada de 0,00-0,05 m no SAF1 com valor de 28,52 g dm⁻³ (Tabela 1). Comportamento semelhante foi observado por Arévalo-Gardini et al. (2015) estudando as mudanças nos atributos físicos e químicos do solo em sistemas de manejo agroflorestal naturais e tradicionais melhorados de longo prazo na Amazônia peruana, onde observaram os maiores teores de matéria orgânica na camada superficial de 0,00-0,20 m. Silva et al. (2014) em um experimento realizado em três sistemas agroflorestais com diferentes idades, o qual percebeu redução no teor de matéria orgânica no solo com o aumento da profundidade, apesar desse decréscimo ter ocorrido apenas nas entrelinhas, sendo que para as linhas houve aumento na concentração da MO com o consequente aumento em profundidade.

Os diferentes usos do solo afetaram o teor de CO no solo resultando em diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos nas camadas de solo avaliadas (Tabela 1). Na camada superficial de 0,00-0,05 m o sistema agrossilvicultural com guaraná (SAF1) apresentou valores de CO significativamente maiores do que os outros tratamentos. Esses resultados indicam que o SAF1 tem demonstrado capacidade em recuperar o solo em relação ao sistema silvipastoril e pastagem em processo de degradação. Marçal et al. (2022) avaliando o teor de CO do solo em agroflorestas tropicais, verificaram que os sistemas agroflorestais tropicais desempenham um papel fundamental no armazenamento de CO do solo.

O teor de CO no solo no sistema silvipastoril não diferiu da área de pastagem convencional nas camadas estudadas (Tabela 1). Carvalho et al. (2010) verificaram que a mudança do uso do solo tem sido estudada principalmente nas conversões de área de mata nativa para pastagem e pastagem para agricultura. A conversão da vegetação nativa para agricultura nas áreas sob o sistema silvipastoris, mesmo quando cultivadas sob plantio direto, resultou em perdas de carbono de 1,31 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em seis anos e de 0,69 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em 21 anos.

Os valores do EC variaram de 16,13 Mg ha⁻¹ no sistema agrossilvicultural com guaraná na camada de 0,00-0,05 m a 6,47 Mg ha⁻¹ no sistema silvipastoril na camada de 0,05-0,10 m (Tabela 1). Resultados semelhantes foram observados por Marçal et al. (2022), que verificaram que os sistemas agroflorestais desenvolvidos como referência para produção em larga escala são eficientes no aumento do EC que refletem a qualidade do solo, especialmente nas leiras de plantio, superando a pastagem e o sistema silvipastoril. Em estudo de Lima et al. (2011) foi observado maiores teores de EC no sistema agroflorestal em comparação ao solo florestal e associaram esse efeito à melhoria na qualidade do solo proporcionada pelo maior aporte de fitomassa, que, além de atuar como fonte de carbono e nutrientes, ajuda a atenuar as oscilações de temperatura e umidade do solo, intensificando a atividade biológica.

CONCLUSÕES

Os maiores valores de Estoque de Carbono (EC) foram observados nas camadas superficiais (Tabela 1). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Kim et al. (2016), que observaram maiores estoques de C e N nas camadas superficiais do solo (até 0,20 m) sob SAFs, em comparação à agricultura convencional. Os autores explicam este incremento, entre outros fatores, devido a maior assimilação de carbono por plantas perenes lenhosas presentes nos SAFs e pelo acúmulo de biomassa como cobertura do solo. Cardinael et al. (2017) apontou um maior EC nas linhas do que nas entrelinhas de plantio em SAFs na França, especialmente na camada de 0,00-0,10 m, indicando que o manejo destas linhas deve ser um fator chave no incremento da capacidade de estocar carbono.

O sistema silvipastoril não diferiu da área de pastagem em processo de degradação, demonstrando que esse sistema não foi eficiente na manutenção e aumento do EC (Tabela 13). Resultados contrários foram observados por Rowntree et al. (2020), em um sistema de pastejo rotacionado multiespécies, que empilha simbioticamente várias espécies animais (bovinos, ovinos, suínos e aves), avaliando uma série histórica de 20 anos, obteve um incremento médio anual na ordem de 2,29 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ e a pastagem não degradada sob solo fértil obteve um incremento médio anual de 0,46 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Salimon et al. (2007) relatam que em área com a introdução da pastagem os EC no solo podem decrescer nos primeiros anos da implantação, no entanto, o estoque deve aumentar nos anos seguintes, até atingir valores próximos ou superiores aos existentes antes da implantação.

BIBLIOGRAFIA:

- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. (Eds.). **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221 p.
- ARÉVALO-GARDINI, E.; CANTO, M.; ALEGRE, J.; LOLI, O.; JULCA, A.; BALIGAR, V. Changes in soil physical and chemical properties in long term improved natural and traditional agroforestry management systems of cacao genotypes in Peruvian Amazon. **PlosOne**, v.10, p.1-29, 2015.
- BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; YANG, J. E.; ALEWELL, C.; WUEPPER, D.; MONTANARELLA, L.; BALLABIO, C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). **Environmental Sciences**, v.117, n.36, p.21994-22001, 2020.
- CATANOZI, G. Importância dos aspectos ecológicos na análise qualiquantitativa da macrofauna edáfica. **Revista da Universidade Ibirapuera**, n.1, p.42-52, 2011.
- CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G. X.; PAIXÃO, L. S.; LOURENÇO, F.; CARDOZO, E. G.; RODRIGUES, T. O.; SILVA, H. R.; MEDINA, J.; SOUSA, T. M. C.; ROCHA, A. E.; REIS, F. O. Carbon sequestration and nutrient cycling in agroforestry systems on degraded soils of Eastern Amazon, Brazil. **Agroforest Systems**, v.94, p.1781-1792, 2020.
- CHERUBIN, M. R.; CHAVARRO-BERMEJO, J. P.; SILVA-OLAYA, A. M. Agroforestry systems improve soil physical quality in northwestern Colombian Amazon. **Agroforestry Systems**, v.93, p.1741-1753, 2019.
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v.75, n.1, p. 529-538, 1996.
- FAO; ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015.

FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M.; CHERUBIN, M. R.; LOVERA, L. H.; OLIVEIRA, I. N.; CARNEIRO, M. P.; LA SACALA JUNIOR, N. Abiotic soil health indicators that respond to sustainable management practices in sugarcane cultivation. **Sustainability**, v.12, n.22, p.1-6, 2020.

MARÇAL, M. F.M.; SOUZA, Z. M.; TAVARES, R. L. M.; FARHATE, C. V. V.; MONTEIRO JÚNIOR, R. E.; LIMA, E. S.; LOVERA, L. H. Potential use of Quartzipisamment under agroforestry and silvopastoral system for large-scale production in Brazil. **Agronomy**, v.12, n.4, p.1-15, 2022.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. **Total carbon, organic carbon and organic matter**. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series nº 5. Madison: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1996. p.963-1010.

NEWTON, P.; CIVITA, N.; FRANKEL-GOLDWATER, L.; BARTEL, K.; JOHNS, C. What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. **Frontiers Sustainable Food Systems**, v.4, 577723, 2020.

OLLINHAHO, O. I.; KRÖGER, M. Agroforestry transitions: The good, the bad and the ugly. **Journal of Rural Studies**, v.82, p.210-221, 2021.

PATEL, R.; MOORE, J. W. **A history of seven cheap things: A guide to capitalism, nature, and the future of the planet**. Oakland: University of California Press, 2017.

PAVÃO, V. M.; NASSARDEN, D. C. S.; PAVÃO, L. L.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Impacto da conversão da cobertura natural em pastagem e Área urbana sobre variáveis biofísicas no sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.3, p.343-351, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; 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**. 5ª Ed. Revista e Ampliada, Brasília: Embrapa, 2018. 353 p.

SIMINSKI, A.; SANTOS, K. L.; WENDT, J. G. N. Rescuing agroforestry as strategy for agriculture in Southern Brazil. **Journal of Forestry Research**, v.27, p.739-746, 2016.

SUMBERG, J.; GILLER, K. E. What is 'conventional' agriculture? **Global Food Security**, v.32, 100617, 2022.

VIDOTTO, E.; PESSEDA, L. C. R.; RIBEIRO, A. S.; FREITAS, H. A.; José Albertino BENDASSOLLI, J. A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. **Acta Amazonica**, v.37, n.3, p.385-400, 2007.

ZHANG, L.; YAN, C.; GUO, Q.; ZHANG, J.; RUIZ-MENJIVAR, J. The impact of agricultural chemical inputs on environment: global evidence from informetrics analysis and visualization. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v.13, n.4, p.338-352, 2018.