



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SUL DO AMAZONAS

Palavras-Chave: Saúde do solo, estrutura do solo, sistema silvipastoril, pastagem.

Autores(as):

Eduardo Pucci Ferreira, FEAGRI – UNICAMP

Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza, FEAGRI - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

De acordo com o relatório "Status of the World's Soil Resources" da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), 33% dos solos do mundo estão degradados. Erosão, salinização, compactação, acidificação e contaminação estão entre os principais problemas. A erosão elimina de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, reduzindo significativamente a produtividade das culturas e capacidade de armazenar carbono no solo, nutrientes e água (FAO; ITPS, 2015). Tradicionalmente, a ocupação da Amazônia tem conduzido a um aumento do desmatamento nessa região. Embora não se possa atribuir a um único fator as causas do desmatamento, por ser este um fenômeno de natureza bastante complexa, sua principal causa ainda é a pecuária extensiva de baixa produtividade (FELTRAN-BARBIERI; FÉRES, 2021).

Manejos conservacionista como os Sistemas Agroflorestal, como o silvipastoril, têm sido ativamente promovidos para mitigar a degradação das pastagens e do solo (POLANÍA-HINCAPIÉ et al., 2021). Em sistemas silvipastoris, gramíneas tropicais melhoradas são combinadas com árvores e arbustos para aumentar a produtividade e os nutrientes da forragem e melhorar a qualidade das pastagens e, nos sistemas agrossilviculturais combinando frutíferas e árvores nativas também tem recuperados solos degradados (CHERUBIN et al., 2019). Maior diversidade de espécies alinhada com práticas de manejo adequadas resulta em maiores aportes de biomassa e cobertura do solo induzida favorecendo a ciclagem de nutrientes, atividade biológica e sequestro de carbono (CHERUBIN et al., 2019; LIMA et al., 2021). O aumento do carbono orgânico do solo promovido pela biomassa vegetal (acima e abaixo do solo) pode favorecer melhorias nos atributos físicos e na estruturação do solo (CHERUBIN et al., 2019).

Dessa forma, o projeto propõe-se estudar áreas sob diferentes Sistemas Agroflorestais (Sistemas Agrossilviculturais e Silvipastoris) e área de pastagem degradada nos municípios de Canutama e Humaitá na região sul do estado do Amazonas, que de acordo com Vidotto et al. (2007), contempla uma área de transição entre ecossistemas de floresta densa e campos naturais (limpo e sujo), que ao longo dos últimos anos, vêm sofrendo impactos em sua cobertura natural devido às atividades antrópicas, especialmente, conversão de florestas em pastagem (LIMA et al., 2021).

OBJETIVOS:

Objetivo Geral

Avaliar a recuperação estrutural do Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas sob diferentes Sistemas Agroflorestais (Sistemas Agrossilviculturais e Silvipastoris), comparando com áreas de pastagem degradada nos municípios de Canutama e Humaitá na região Sul do Amazonas.

Objetivos Específicos

Avaliar se os Sistemas Agroflorestais modificam positivamente a qualidade do solo por meio da determinação dos atributos físicos do solo, quando comparado com área de pastagem em área de Argissolo Vermelho-Amarelo.

Determinar se os Sistemas Agroflorestais promovem a recuperação estrutural do solo por meio da análise VESS, quando comparado com área de pastagem degradada.

METODOLOGIA:

Localização e descrição da área de estudo

As áreas de estudo localizam-se na região Sul do Amazonas no município 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) as 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 com textura média (26-35% de argila).

Local de amostragem e tratamentos

Foram selecionadas três áreas com diferentes sistemas de manejo: SAF1 - sistema agrossilvicultural com guaraná; (ii) SAF2 - sistema silvipastoril com cultivo misto de andiroba, teca e pastagens (*Brachiaria decumbens*) para o pastejo bovino de corte; e (iii) pastagem degradada. Nesses locais foram estabelecidos um transecto e o solo foi amostrado em quinze pontos equidistantes em cada um dos tratamentos, perfazendo um total de 45 pontos amostrais, esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS, em seguida foram amostras no transecto nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Análises físicas do solo

A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa do solo seco em estufa a 105 °C e volume da amostra, segundo metodologia proposta pela EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017) nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. A porosidade foi calculada a partir da mesa de tensão e a microporosidade corresponde à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de 0,006 MPa, após saturação (TEIXEIRA et al., 2017). A porosidade total foi obtida segundo EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017) e a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

Avaliação visual da estrutura do solo (VESS)

Foi realizada mediante o uso da metodologia descrita por Guimarães et al. (2011). O método consiste na coleta de amostras indeformadas de solo com 5000 cm³ de volume (20 x 10 x 25 cm de largura, comprimento e altura, respectivamente), e a posterior fratura manual dos agregados visando sempre seguir as linhas de fratura. Posteriormente, foram identificadas as camadas de agregação contrastante, medição da espessura da camada e atribuição de uma pontuação (Sq), comparando a estrutura da amostra com o gráfico VESS, que contém descrições e fotos de cada categoria da qualidade da estrutura do solo.

Durante o processo da VESS foi feito o registro fotográfico das amostras para auxiliar a revisão e confirmação das pontuações dadas conforme sugestão de Tormena et al. (2016). Uma pontuação final ponderada (VESSSq) foi calculada para cada amostra com base na pontuação individual e na espessura de cada camada de solo contrastante.

Análise de dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias, comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, realizada no software estatístico Minitab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Densidade e porosidade do solo

A densidade do solo diferiu significativamente entre os sistemas de usos e manejos estudados, com o sistema agrossilvicultural com guaraná (SAF2) apresentando menor valor de densidade em relação aos demais tratamentos estudados (Tabela 1). A conversão de florestas nativas em áreas agrícolas promove mudanças negativas no solo como perda de carbono (DURIGAN et al., 2017), aumento da densidade do solo e resistência do solo à penetração e diminuição do espaço poroso

(CHERUBIN et al., 2019; DE STEFANO; JACOBSON, 2017). A degradação do solo preocupa onde nenhuma cobertura vegetal é mantida porque perdas de solo e nutrientes podem representar perdas econômicas, com um impacto considerável no custo de produção dos agricultores. De acordo com Dechen et al. (2015), as perdas de solo no território brasileiro com culturas anuais estão próximas de 616,5 milhões de Mg ano⁻¹, com um custo de reposição de nutrientes de US\$ 1,3 bilhão por ano.

Tabela 1. Atributos físicos do solo nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, em áreas com diferentes usos e manejos no sul do Amazonas.

Camada (m)	-----Tratamentos-----			CV (%)	Pr>Fc
	SAF1	SAF2	PA		
	Densidade do solo (Mg m ⁻³)				
0,00-0,05	1,23 b	1,39 a	1,36 a	9,04%	0,00000**
0,05-0,10	1,22 c	1,43 a	1,41 a	7,63%	0,00000**
0,10-0,20	1,24 b	1,44 a	1,40 a	7,50%	0,00000**
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)				
0,00-0,05	0,12 a	0,03 b	0,05 b	39,52%	0,00000**
0,05-0,10	0,10 a	0,04 b	0,04 b	40,96%	0,00000**
0,10-0,20	0,11 a	0,03 b	0,04 b	28,54%	0,00000**
	Microporosidade (m ³ m ⁻³)				
0,00-0,05	0,34 a	0,31 b	0,31 b	10,47%	0,00127**
0,05-0,10	0,32 a	0,28 c	0,30 b	10,07%	0,00049**
0,10-0,20	0,31 a	0,26 b	0,30 a	11,47%	0,00012**
	Porosidade total (m ³ m ⁻³)				
0,00-0,05	0,46 b	0,34 c	0,36 c	13,06%	0,00000**
0,05-0,10	0,42 b	0,32 c	0,34 c	13,20%	0,00000**
0,10-0,20	0,42 a	0,29 c	0,34 b	12,20%	0,00000**

SAF1 = sistema agrossilvicultural com guaraná; SAF2 = sistema silvipastoril com pastagem + Teca + Andiroba; PA = pastagem degradada; 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.

A densidade do solo variou de 1,22 a 1,44 Mg m⁻³ nos diferentes usos e manejos do solo estudados (Tabela 1). Resultados semelhantes foram observados por Lima et al. (2021) estudando os atributos do solo e distribuição de raízes em áreas sob conversão de florestas para ambientes cultivados no sul do Amazonas, Brasil, com valores de densidade de 1,05 Mg m⁻³ em floresta e 1,22 Mg m⁻³ em sistema agrossilvicultural com a cultura do guaraná. Muller et al. (2001) estudando os atributos físicos do solo e degradação de pastagens na região Amazônica, observaram densidade do solo de 1,25 Mg m⁻³ em áreas com recuperação com o uso do capim andropógon. Mantovanelli et al. (2015) avaliando os atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas, verificaram valores de densidade em pastagem variando de 1,42 a 1,44 Mg m⁻³ em campo natural.

Os valores de macroporosidade (MaP) diferiu estatisticamente entre os usos e manejos estudados, com a área de SAF1 diferindo dos demais tratamentos (Tabela 1). Os maiores valores de MaP foram observados na área com sistema agrossilvicultural com guaraná para ambas as profundidades. Vale ressaltar que a MaP é inversamente proporcional à densidade (CHIODEROLI et al., 2012) e que, desta forma, os valores de porosidade maiores em proximidade à superfície do solo, geralmente são encontrados em áreas sob floresta nativa (MARTINKOSKI et al., 2017).

Para a microporosidade verificou-se diferença significativa entre os usos e sistemas de manejo, com os menores valores no sistema silvipastoril com pastagem + Teca + Andiroba e pastagem degradada (Tabela 1). Moreira et al. (2005) estudando os atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada, verificaram a redução dos valores de macro e microporosidade, indicando que esse atributo foi sensível à ação do pisoteio na superfície do solo. Segundo Silva e Kay (1997) a microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura e pelo teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originada pelo tráfego de máquinas, implementos entre outros.

Os sistemas de uso e manejo do solo diferiram para a porosidade total, com os maiores valores na área com o sistema agrossilvicultural com guaraná (Tabela 1). Nota-se que a adoção de sistemas de manejo mais conservacionista melhora a qualidade do solo na região amazônica, resultados semelhantes foram observados por Lima et al. (2021), onde verificaram valores de porosidade total de

0,52-0,63 m³ m⁻³ e macroporosidade de 0,14-0,20 m³ m⁻³ em área de mata secundária, cupuaçu, guaraná e urucum. Nas áreas não trafegadas, as condições do solo são ideais para o crescimento das culturas, já que não apresentam impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular, influenciando positivamente na produtividade da cultura.

Análise visual da estrutura do solo (VESS)

Por meio do método de Avaliação Visual da Qualidade da Estrutura do Solo (VESS), verificou-se diferença na qualidade estrutural (Qe) nos usos e manejos do solo estudados, sendo que o de melhor Qe ocorreu no SAF1 - sistema agrossilvicultural com guaraná (Tabela 2). Conforme a carta de avaliação visual do método VESS (BALL et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2011), este sistema apresentou Qe próximo de 1 que corresponde a solo com agregados que quebram facilmente com os dedos devido a presença de raízes por todo o solo, uma mistura de agregados de alta porosidade menores que 6,0 mm após a quebra e poucos agregados com diâmetro maior que 1,0 cm.

Tabela 2. Escore da avaliação visual da estrutura do solo (Sq VESS), nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m em áreas com diferentes usos e manejos no sul do Amazonas.

VESS (Sq)	-----Tratamentos-----			CV (%)	Pr>Fc
	SAF1	SAF2	PA		
Sq1	1,3 c	3,8 a	2,6 b	12,82%	0,00000**
Sq2	1,8 c	4,3 a	2,7 b	17,76%	0,0000**
Sq2	1,6 c	4,1 a	2,4 b	15,22%	0,0000**
Sq final	1,6 c	4,0 a	2,6 b	14,54%	0,00000**

SAF1 = sistema agrossilvicultural com guaraná; SAF2 = sistema silvipastoril com pastagem + Teca + Andiroba; PA = pastagem degradada; Sq1 = escore na camada 0,00-0,05 m; Sq2 = escore camada 0,05-0,10 m; Sq3 = escore na camada 0,10-0,20 m; Sq final = escore final; 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.

A área com sistema agrossilvicultural com guaraná apresentou uma qualidade estrutural próximo as áreas de mata (Tabela 2). Esses sistemas apresentaram uma boa qualidade estrutural, ficando o Qe entre 0,9 e 1,8, devido a grande presença de raízes na superfície de 0,00-0,20 m, e ao efeito benéfico que estas trazem para a melhoria estrutural, melhorando a agregação do solo (CALEGARI et al., 2006). Resultados semelhantes foram observados por Giarola et al. (2013), que obtiveram uma média de 1,75 em superfície e maioria das pontuações foram Qe = 1 para os sistemas estudados.

A área com o sistema silvipastoril com pastagem + Teca + Andiroba apresentou os maiores escores, variando de 3,0 a 4,2 tanto na camada superior quanto na camada inferior, quanto mais próximo de 5 menor a qualidade estrutural (Tabela 2). Resultados contrários foram verificados por Polanía-Hincapié et al. (2021) onde observaram que os sistemas silvipastoris contribuem para a restauração de pastagens degradadas na região amazônica e, que os sistemas integrados de agricultura recuperam a qualidade do solo em região tropical. De acordo com Armenteras et al. (2006) historicamente a pastagem mal manejada é o primeiro uso da terra após o desmatamento na região amazônica. Cherubin et al. (2017) verificaram que a conversão a longo prazo de uma floresta Amazônica a pastagens extensivas induziu degradação na qualidade física do solo para a camada de 0,00-0,25 m, aumentando as pontuações gerais da Qe de 1,3 para 4.0.

CONCLUSÕES:

A densidade do solo no sistema agrossilvicultural com guaraná foi menor do que na área de pastagem e os maiores valores de macroporosidade e estrutura do solo avaliada visualmente foram observados na área com sistema agrossilvicultural com guaraná para ambas as profundidades.

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**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ARMENTERAS, D.; RUDAS, G.; RODRIGUEZ, N.; SUA, S.; ROMERO, M. Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. **Ecological Indicators**, v.6, n.2, p.353-368, 2006.
- BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality - a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, v.23, n.4, p.329-337, 2007.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, n.2, p.147-158, 2006.

CHERUBIN, M. R.; FRANCO, A. L. C.; GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; KARLEN, D. L.; CERRI, C. C. Assessing soil structural quality under Brazilian sugarcane expansion areas using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). **Soil and Tillage Research**, v.173, p.64-74, 2017.

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.

CHIODEROLI, C. A.; SILVA, R. P.; NORONHA, R. H. F.; CASSIA, M. T.; SANTOS, E. P. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Bragantia**, v.71, n.1, p.112-121, 2012.

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

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DE MARIA, I. C. Losses and costs associated with water erosion according to soil cover rate. **Bragantia**, v.74, n.2, p.224-233, 2015.

DURIGAN, M.; CHERUBIN, M. R.; CAMARGO, P. B.; FERREIRA, J. N.; BERENGUER, E.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; DIAS, C. T. S.; SIGNOR, D.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; CERRI, C. E. P. Soil organic matter responses to anthropogenic forest disturbance and land use change in the Eastern Brazilian Amazon. **Sustainability**, v.9, n.3, p.1-16, 2017.

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, 608 p.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: Improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v.8, n.7, p.1-15, 2021.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C. On the Visual Evaluation of Soil Structure: The Brazilian experience in Oxisols under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v.127, p.60-64, 2013.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, v.27, n.3, p.395-403, 2011.

LIMA, A. F. L.; CAMPOS, M. C. C.; MARTINS, T. S.; BRITO FILHO, E. G.; CUNHA, J. M.; SOUZA, F. G.; SANTOS, E. A. N. Soil attributes and root distribution in areas under forest conversion to cultivated environments in south Amazonas, Brazil. **Bragantia**, v.80, e4121, 2021.

MANTOVANELLI, B. C.; SILVA, D. A. P.; CAMPOS, M. C. C.; GOMES, R. P.; SOARES, M. D. R.; SANTOS, L. A. C. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.2, p.122-130, 2015.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade Física do solo sob Manejo silvipastoril e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, v.24, e20160282, 2017.

MOREIRA, J. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.3, p.155-161, 2005.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.11, p.1409-1418, 2001.

POLANÍA-HINCAPIE, K. L.; OLAYA-MONTES, A.; CHERUBIN, M. R.; HERRERA-VALENCIA, W.; ORTIZ-MOREA, F. A.; SILVA-OLAYA, A. M. Soil physical quality responses to silvopastoral implementation in Colombian Amazon. **Geoderma**, v.386, 114900, 2021.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n.3, p.877-883, 1997.

TORMENA, C.A.; KARLEN, D. L.; LOGSDON, S.; CHERUBIN, M. R. Visual soil structure effects of tillage and corn stover harvest in Iowa. **Soil Science Society of America Journal**, v.80, p.720-726, 2016.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. Ed. revista e atualizada. Brasília: EMBRAPA, 573 p. 2017.

VIDOTTO, E.; PESSENDA, 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.