FRACIONAMENTO DENSIMÉTRICO NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM CULTIVOS DE CACAUEIROS

Maria Caroline Aguiar Amaral[1]; João Carlos Medeiros[1]; Jaqueline Dalla Rosa[1]; Patrícia Anjos Bittencourt Barreto-Garcia[2]; Paulo Henrique Marques Monroe[2]; Ismael Lemos da Silva Rocha[2*]

[1] Universidade Federal do Sul da Bahia, *Campus* Jorge Amado, Itabuna, BA.
[2] Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Vitória da Conquista.
*Autor correspondente: E-mail: ismaelengflorestal@gmail.com

RESUMO

O cultivo tradicional do cacaueiro em sistemas agroflorestais favorece o armazenamento de carbono no solo, mas a intensificação para sistemas a pleno sol demanda o uso de plantas de cobertura para mitigar impactos e manter a qualidade edáfica. A avaliação da fração leve livre (FLL) da matéria orgânica do solo é fundamental para verificar se o aporte contínuo de biomassa dessas plantas consegue mimetizar a estabilização do carbono típica dos sistemas agroflorestais originais. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes sistemas de cultivo de cacau na massa e no acúmulo de carbono orgânico na FLL. O estudo foi conduzido em Ilhéus, BA, avaliando sete sistemas de uso do solo, incluindo cultivos a pleno sol com e sem plantas de cobertura, sistemas agroflorestais e floresta nativa. Amostras indeformadas de solo foram coletadas na camada de 0-10 cm e submetidas ao fracionamento densimétrico. Não houve diferenças significativas entre os sistemas avaliados quanto à massa da FLL e ao carbono associado a essa fração. Conclui-se que a matéria orgânica livre está em avançado estádio de decomposição e rápida transformação, evidenciando que as frações lábeis do solo são estabilizadas de forma semelhante nos diferentes manejos, independentemente dos contrastes no aporte de biomassa.

Palavras-chave: Fração leve livre; Matéria orgânica do solo; Agroglorestas; Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) é tradicionalmente cultivado em sistemas agroflorestais (SAFs), que favorecem o armazenamento de carbono (C) no solo pela deposição contínua de resíduos vegetais (VICENTE et al., 2024). Entretanto, a intensificação do cultivo a pleno sol aumenta a dependência de insumos químicos e a

vulnerabilidade às mudanças climáticas. Como alternativa, o uso de plantas de cobertura melhora a saúde do solo (MUHAMMAD et al., 2021), melhoram a estrutura do solo e favorecem a proteção da matéria orgânica do solo (MOS) (BLANCO-CANQUI, 2022; SIX et al., 2004).

A MOS é composta por frações com diferentes graus de estabilidade (SIX e PAUSTIAN, 2014; MONROE et al., 2022), sendo a fração leve livre (FLL) um compartimento lábil e sensível ao manejo (GOLCHIN et al., 1994).

Diante disso, objetivou-se com este estudo avaliar como diferentes sistemas de cultivo de cacau influenciam, a massa e o acúmulo de carbono orgânico na fração leve livre da MOS, buscando compreender os mecanismos biológicos associados à agregação e estabilização do carbono no solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em sistemas de cultivo de cacau no Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC/CEPLAC), em Ilhéus, BA. O clima da região é tropical chuvoso (Af), de acordo com a classificação climática de Köppen. com temperatura média anual de 24,3 ºC e precipitação média de 1.300 mm, distribuída ao longo do ano.

A descrição dos sistemas de uso do solo estudados está apresentada na TABELA 1.

TABELA 1 - Descrição dos sistemas de uso do solo sob cultivos com cacaueiros e mata nativa no sul da Bahia.

Sistema de uso do solo	Descrição do sistema
Cacau a pleno sol com braquiária - PSB	Cacaueiro (clone CEPEC 2002), implantado há 5 anos, espaçamento entre plantas e entrelinhas de 1,5 × 4 m, respectivamente, consorciado com *Urochloa decumbens*.
Cacau a pleno sol com Fabaceae - PSF	Cacaueiro (clone CEPEC 2002), implantado há 5 anos, espaçamento entre plantas e entrelinhas de 1,5 × 4 m, consorciado sequencialmente com *Crotalaria breviflora* (2020), *Cajanus cajan* (2021) e *Arachis pintoi* (2022 - atual).
Cacau a pleno sol com plantas espontâneas – PSES´P	Cacaueiro (clone CEPEC 2002), implantado há 5 anos, espaçamento entre plantas e entrelinhas de 1,5 × 4 m, consorciado com plantas espontâneas: *Commelina benghalensis* L.; *Bidens pilosa* L.; *Cyperus ferax*; *Euphorbia heterophylla* L.; *Rhynchospora nervosa*; *Panicum maximum* L. e *Sorghum arundinaceum*.

Cacau a pleno sol sem cobertura de plantas - PSSE	Cacaueiro (clone CEPEC 2002), implantado há 5 anos, espaçamento entre plantas e entrelinhas de 1,5 × 4 m, com entrelinha mantida descoberta por dessecação química com glifosato (2,0 L ha^{-1}).
Sistema agroflorestal, cacau com cajá - SAFC	Sistema Agroflorestal de cacaueiro com *Spondias mombin,* implantado há 30 anos. O cajá foi implantado no espaçamento 18 ×18 m, os cacaueiros híbridos foram implantados no espaçamento de 3 × 3 m. Em 2018 foram introduzidas mudas de cacaueiro dos clones CCN51, PS1319, BN34 e CEPEC 2002, no espaçamento 4 × 2 m.
Sistema agroflorestal, cacau com eritrina SAFE	Sistema Agroflorestal de cacaueiro com *Erythrina velutina* implantado há 40 anos. Os cacaueiros híbridos foram implantados no espaçamento de 3 × 3 m, e a eritrina, com aproximadamente 25 indivíduos arbóreos ha^{-1}, implantados no espaçamento de 20 × 20 m. Está há 11 anos sem qualquer tipo de manejo.
Fragmento de Floresta nativa em regeneração - FN	Fragmento de mata atlântica nativa com aproximadamente 40 anos em regeneração, sem ação antrópica.

Em cada um dos sete sistemas de uso do solo foram estabelecidas quatro parcelas fixas (30 × 30 m), com duas coletas por parcela (linha e entrelinha), sendo coletadas amostras indeformadas na camada de 0–10 cm para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). A FLL foi determinada conforme Sohi et al. (2001), utilizando 5 g de TFSA e 23 mL de solução de iodeto de sódio (NaI; 1,80 g cm^{-3}) (Matos e Mendonça, 2017). A fração orgânica foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até massa constante para determinação da massa seca da FLL. O teor de COS foi determinado pelo método de oxidação úmida com dicromato de potássio, conforme Yeomans e Bremner (1988).

2.3. Análise estatística

Os dados obtidos foram avaliados quanto à normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov, $p < 0,05$) e à homogeneidade das variâncias (teste de Levene, $p < 0,05$). Uma vez atendidos os pressupostos estatísticos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando os sistemas de uso do solo como fator fixo. As médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no ambiente R (R Core Team, 2025) e as figuras foram elaboradas no programa SigmaPlot® versão 12.0 (Systat, 2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram observadas diferenças entre os sistemas avaliados para a massa da FLL da matéria orgânica do solo e para o carbono associado a essa fração (FIGURA 1).

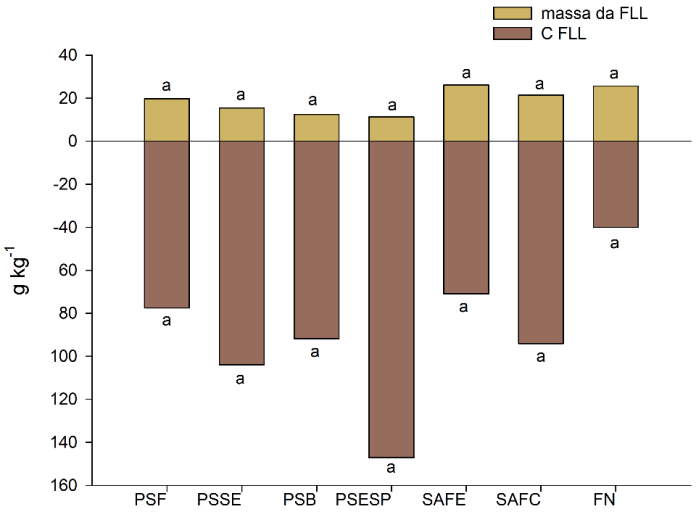


FIGURA 1 - Massa da fll da Matéria orgânica do solo e carbono da fll em cultivos cacaueiros. Em que: PSF: cacaueiros a pleno sol com Fabaceae; PSSE: cacaueiros a pleno sol sem cobertura de plantas; PSB: cacaueiros a pleno sol com braquiária; PSESP: cacaueiros a pleno sol com vegetação espontânea; SAFE: sistema agroflorestal de cacaueiros com Eritrinas; SAFC: sistema agroflorestal de cacaueiros com cajazeiros; e FN: Floresta nativa. Letras maiúsculas semelhantes dentro das barras e letras minúsculas entre as barras, não diferiram entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de significância.

A ausência de diferença da FLL e CFLL entre os sistemas sugere que a MOS livre está em avançado estádio de decomposição, pois não reflete as variações de composição química dos resíduos recém aportados. Von Haden et al. (2019) não observaram mudanças significativas na fração leve após cinco anos de diferentes sistemas de cultivo, mesmo diante de contrastes nos transportes de biomassa, devido a rápida decomposição pela intensa transformação do material orgânico.

4. CONCLUSÃO

Os sistemas de cultivo de cacau e as plantas de cobertura não diferem quanto à massa e ao acúmulo de carbono da fração leve livre da matéria orgânica do solo.

Esses resultados indicam que a FLL se encontra em estágio avançado de decomposição, com estabilização semelhante entre os sistemas, independentemente das diferenças no aporte de biomassa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANCO-CANQUI, H. Cover crops and carbon sequestration: Lessons from US studies. **Soil Science Society of America Journal**, v. 86, n. 3, p. 501-519, 2022. DOI: 10.1002/saj2.20378.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state 13C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, n. 2, p. 285-309, 1994. DOI: 10.1071/SR9940285.

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. 2017.

MONROE, P. H. M.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; VICENTE, L. C. Carbon and nitrogen occluded in soil aggregates under cacao-based agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 96, p. 1037-1050, 2022. DOI: 10.1007/s42729-021-00734-3.

MUHAMMAD, I.; WANG, J.; SAINJU, U. M.; ZHANG, S.; ZHAO, F.; KHAN, A. Cover cropping enhances soil microbial biomass and affects microbial community structure: A meta-analysis. **Geoderma**, v. 381, p. 114696, 2021.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 1, p. 7-31, 2004.

SIX, J.; PAUSTIAN, K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. A4-A9, 2014. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.06.014.

SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M.; POWLSON, D. S.; MADARI, B.; GAUNT, J. L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 4, p. 1121-1128, 2001. DOI: 10.2136/sssaj2001.6541121x.

SYSTAT SOFTWARE INC. *Sigmaplot for Windows (Development and Testing Procedure)*. Version 14.0. 2010.

VICENTE, L. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; ALEIXO, S.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Chemical characterization of organic matter in soil aggregates under cacao agroforestry systems assessed by solid-state 13C CPMAS NMR. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 1, p. 229-243, 2024.

VON HADEN, A. C.; KUCHARIK, C. J.; JACKSON, R. D.; MARÍN-SPIOTTA, E. Litter quantity, litter chemistry, and soil texture control changes in soil organic carbon fractions under bioenergy cropping systems of the North Central U.S. **Biogeochemistry**, v. 143, n. 3, p. 313-326, 2019. DOI: 10.1007/s10533-019-00564-7.