

ESTOQUE DE CARBONO EM SOLO CULTIVADO COM SOJA ORGÂNICA

Regiane Santana Souza^{1*} (IC - regianesantanaueg@gmail.com), Adriana Rodolfo Costa¹ (PO), Sarah Melo dos Santos¹ (AC), NarlaCosta Oliveira Sabino¹ (AC), Eduardo Silva Couto¹, Josué Gomes Delmond¹(OU), Patrícia CostaSilva¹(OU)

¹UEG- Campus Santa Helena de Goiás: Via Protestato, Nº S/N no bairro R Joaquim Jos Bueno em Santa Helena de Goiás - GO

Resumo: A qualidade do solo desempenha um papel crucial na agricultura sustentável, uma vez que o solo é um ambiente complexo com uma rica biodiversidade. Os agricultores orgânicos se destacam por adotarem técnicas e práticas sustentáveis, evitando o uso de produtos químicos e pesticidas sintéticos. O estoque de carbono no solo desempenha papel crucial como indicadores-chave dos serviços ambientais prestados pelas boas práticas agrícolas. A avaliação do estoque de carbono é influenciada pela variabilidade da paisagem, sendo dependente de fatores como clima, topografia, tipos de solo, cenário e manejo do solo. A presente pesquisa tem como objetivo principal avaliar o estoque de carbono orgânico no solo em sistemas de produção de soja orgânica. O estudo foi realizado na Fazenda Panorama, município de Santa Helena de Goiás. O solo é um Latossolo Vermelho, de textura argilosa. As áreas de cultivo orgânico estão sob essa gestão desde 2018, quando foram certificadas. A amostragem foi realizada em cinco áreas (três áreas sob cultivo orgânico de grãos; uma área de pastagem consolidada; uma área de vegetação nativa) logo após a colheita da soja. O sistema de produção orgânico adotado envolve o cultivo de soja na primeira safra e ocasionalmente de milho na segunda safra. Foram determinadas: densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) do solo, pH do solo em água na camada de 0-10 cm e estoque de carbono até 30 cm de profundidade. O COT teve similaridade entre as áreas, o que pode ser explicado devido às condições climáticas e oxigênio que foram homogêneas. Em relação ao pH encontrado em todas as áreas, são considerados agronomicamente de acidez média. O estoque de carbono do solo foi superior na área de SO1, pousio e de pastagem, devido ao maior acúmulo de carbono propiciado pela cobertura de solo.

Palavras-chave: Produção orgânica, Agricultura sustentável, Acúmulo de carbono.

Introdução

A qualidade do solo desempenha um papel crucial na agricultura sustentável, uma vez que o solo é um ambiente complexo com uma rica biodiversidade. A atividade biológica no solo é fundamental para determinar sua estrutura e fertilidade, influenciando diretamente seu desempenho em funções vitais, como a produção de alimentos (MELO et al., 2019). Nesse contexto, os agricultores orgânicos se destacam, pois adotam técnicas e práticas sustentáveis, evitando o uso de produtos químicos e pesticidas sintéticos. Isso não apenas resulta em alimentos mais saudáveis e seguros, mas também contribui para a proteção do meio ambiente e da biodiversidade (INAGAKI et al., 2018).

Segundo a Embrapa (2015), a soja orgânica é um bom investimento para os pequenos produtores rurais, pois seu manejo é livre de produtos químicos como herbicidas, fungicidas e inseticidas e, no geral, seu custo de produção é inferior ao

da soja convencional. Portanto, a qualidade do solo e as práticas orgânicas estão intrinsecamente ligadas, pois ambas desempenham um papel crucial na busca por uma agricultura mais sustentável e responsável.

A escolha da modalidade de manejo adotada pelo produtor está intrinsecamente ligada à capacidade de sequestrar carbono no solo. A presença de matéria orgânica exerce influência indireta sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, como destacado por Viana *et al.* (2011). Os estoques de carbono no solo desempenham um papel crucial como indicadores-chave dos serviços ambientais fornecidos pelas boas práticas agrícolas. A avaliação desses estoques de carbono é influenciada pela variabilidade existente na paisagem, sendo dependente de fatores como clima, topografia, tipos de solo, cenário e manejo do solo. Além disso, o conhecimento especializado sobre os estoques de carbono no solo é essencial para uma gestão sustentável dos recursos naturais (CAVALLI *et al.*, 2018).

De acordo com Steiner *et al.* (2012), o estoque de carbono (EC) pode ser afetado com maior ou menor força, a depender do tipo de sistema agrícola adotado, o que se apresenta como um dos atributos de maior sensibilidade às mudanças ocasionadas pelo manejo. Ressalta-se que os sistemas orgânicos de produção favorecem o aumento dos níveis de carbono orgânico no solo e consequentemente o estoque deste no solo, de modo que geram a redução das emissões de gases de efeito estufa (URQUIAGA *et al.*, 2010), como o dióxido de carbono (CO₂).

Portanto, a interconexão entre a qualidade do solo, a adoção de práticas orgânicas e a gestão eficaz dos estoques de carbono no solo desempenham um papel central na busca por uma agricultura verdadeiramente sustentável, que seja capaz de suprir as necessidades do presente sem deficiências como oportunidades das gerações futuras. Nesse sentido, a presente pesquisa estudo tem como objetivo principal a geração de informações relevantes acerca do estoque de carbono orgânico no solo em sistemas de produção de soja orgânica.

Material e Métodos

A amostragem de solo foi realizada na Fazenda Panorama, município de

Santa Helena de Goiás, localizada a 17° 54'22" S e 50° 39'56" W, com 625 metros de altitude, na região Sudoeste de Goiás (Figura 1). A região tem clima classificado como Aw (ALVARES et al., 2013), cuja precipitação anual está distribuída em duas estações bem definidas: estação seca ou inverno (maio-outubro) e chuvosa ou verão (novembro-abril), temperatura média 25 C°, de modo que a precipitação total atinge aproximadamente 1500 mm anuais. O solo é um Latossolo Vermelho, de textura argilosa.

As coletas foram realizadas em cinco áreas (três áreas sob cultivo orgânico de grãos; uma área de pastagem consolidada; uma área de vegetação nativa, estas duas últimas consideradas como referência) logo após a colheita da soja (Figura 1). Em cada área coletou-se amostras de solo em 5 pontos, estas foram deformadas e indeformadas (Figura 2), perfazendo um total de 15 amostras por área, totalizando 75 amostras indeformadas e 75 deformadas. As áreas sob cultivo orgânico estão sob este manejo desde 2018, quando foram certificadas. O sistema produtivo adotado envolve o cultivo de soja em primeira safra e ocasionalmente milho na segunda safra, com variações em relação a presença de palhada de braquiária.

Áreas de estudo	SO1 (Soja orgânica 1): Em 2018 foi aplicado calcário e realizado consórcio: milho/braquiária, seguido de braquiária em 2019 e 2020, e plantio da soja (BRS 511) no verão de 2021. (Localização: a 17° 54'25" S e 50°39'59" W).	
	SO2 (Soja orgânica 2): Em 2018 foi aplicado calcário e realizado plantio de braquiária em 2019, seguido de plantio de soja e milho safrinha em 2020 e soja (BRS 511) em 2021. (Localização: a 17° 54'48" S e 50°39'55" W).	
	Pousio: Em 2018 aplicou-se pó de rocha com microrganismos. Em 2019/20 realizou-se gradagens e passadas de cultivador para o controle plantas daninhas, para o cultivo de soja no verão. Em 2021 a área estava em pousio. (Localização: a 17° 54'30" S e 50°39'42" W).	
	Pastagem (Tanz): Foi aplicado na área calcário, esterco e pó de rocha e em 2021/2022 realizou-se aplicação de ácidos húmico e fúlvico na área de pastagem de Tanzânia, instalada na área desde 2008. (Localização: a 17° 54'15" S e 50°39'56" W).	
	Mata: Área de mata nativa utilizada como referência. (Localização: a 17° 55'33" S e 50°39'54" W).	

Figura 1: Histórico e localização das áreas de amostragem de solo sob cultivo orgânico.



Figura 2: Área sob cultivo de soja orgânico e Amostragem de solo indeformado para análise de propriedades físicas do solo.

O pH do solo foi determinado em água conforma Teixeira et al. (2017). A densidade do solo (D_s) foi realizada utilizando o método do anel volumétrico, conforme previamente descrito por Teixeira et al. (2017). O teor de carbono orgânico total do solo (COT) foi obtido a partir de amostras deformadas, por meio de um processo que envolve a oxidação a quente com dicromato de potássio e subsequente titulação com sulfato ferroso amoniacal, seguindo a adaptação do método de Walkley e Black (1934) adaptada por Teixeira et al. (2017). O estoque de carbono orgânico foi estimado nas três camadas de solo amostradas, a partir da equação 1, proposta por Arevelo et al. (2002) e d'Andréa et al. (2004).

$$EC = (CO \times D_s \times E)/10 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

EC: estoque de C orgânico em determinada profundidade ($Mg \text{ ha}^{-1}$);

CO: teor de C orgânico total ($g \text{ kg}^{-1}$);

D_s : densidade do solo média da profundidade ($kg \text{ dm}^{-3}$), determinada a partir de amostras indeformadas;

E: espessura da camada considerada (cm).

Após a coleta dos dados foi realizada a análise de variância a 5% de probabilidade, para as características avaliadas utilizando o software estatístico Sistema de Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2019). Verificada a significância será aplicado o teste de Tukey para a comparação de médias ao nível de 5% para os fatores de tratamentos estudados.

Resultados e Discussão

Na tabela 1 são apresentados os valores de F para as variáveis respostas testadas neste estudo. As diferenças na densidade do solo foram altamente significativas a um nível de 1% para as diversas áreas de manejo estudadas, enquanto o estoque de carbono e pH orgânico (EC) revelou significância estatística a um nível de 5% de probabilidade. No entanto, não se observaram diferenças significativas no total de carbono orgânico (COT) entre as áreas de manejo analisadas. Os coeficientes de variação (CV) variaram de 5,52% a 18,24%, e de acordo com a classificação proposta por Pimentel-Gomes (1985), o CV para o total de carbono orgânico (COT) seria categorizado como médio, enquanto o CV para a densidade do solo (Ds) e estoque de carbono orgânico (EC) estariam classificados como baixo. Valores menores de CV indicam uma maior precisão dos dados encontrados (CRUZ et al., 2012), indicando boa precisão na condução das análises deste estudo.

Tabela 1. Valores de F para carbono orgânico total (COT), densidade do solo (Ds) e pH do solo (pH) na camada de 0-0,10 m e estoque de Carbono (EC) no perfil do solo (0-0,03m) em áreas sob manejo orgânico.

FV	GL	COT	pH	Ds	EC
Área	4	ns	3,54*	9,18**	4,03*
Erro	20	-	-	-	-
Total	24	-	-	-	-
CV (%)	-	18,24	5,52	6,61	10,85

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação.

ns, * e **: não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente pelo teste de F.

O carbono orgânico total (COT) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% (Tabela 2). Esta similaridade de valores se dá devido à exposição deste COT às condições climáticas e oxigênio, que

causam a degradação, que ocorreu de forma homogênea no solo das áreas estudadas. Steiner et al. (2012) atribuíram o pouco efeito dos sistemas de sucessão de cultivo com plantas de cobertura sobre o teor de COT à rápida mineralização dos resíduos vegetais em condições tropicais, com verão quente e úmido, como o observado no Cerrado, região de estudo.

Tabela 2. Carbono orgânico total do solo (COT), pH do solo e densidade do solo (Ds) na camada de 0-0,10m, e estoque de carbono (EC) no perfil do solo em diferentes sistemas de manejo orgânico, em Santa Helena de Goiás, Estado do Goiás.

Áreas	COT g de C kg ⁻¹	pH em água	Ds kg dm ⁻³	EC (0-0,30m) Mg ha ⁻¹
SO1	57,92 a	6,00 a	1,12 bc	107,71 a
SO2	48,05 a	5,36 b	1,27 a	86,56 b
Pousio	55,40 a	5,98 a	1,24 ab	96,50 ab
Pastagem				
m	48,17 a	5,65 ab	1,23 ab	94,16 ab
Mata	47,98 a	5,67 ab	1,02 c	84,78 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao pH encontrado em todas as áreas, tiveram resultados considerados agronomicamente de acidez média já que apresentam pH entre 5,1 - 6,0 (Tabela 2). Os solos agrícolas brasileiros, na maioria, apresentam média a alta acidez (pH < 5,5) que traz como consequência, a baixo rendimento das culturas (FULIM, 2012). De acordo com Carneiro et al. (2009) a calagem, antes da implementação da cultura, pode contribuir para um aumento no pH, o que pode explicar os resultados encontrados nas áreas de SO1 e pousio, no entanto, não corrobora com o resultado para a área de SO2.

O manejo adotado nas áreas promoveu alterações no EC no perfil do solo (na camada de 0 a 0,30 m), variando de 84,78 a 107,71 Mg ha⁻¹ (Tabela 2). De modo que a área SO1 foi superior a área de referência e semelhante a área de pousio e depastagem. Nota-se que as áreas sob Pousio e Pastagem, assim como aquela que teve a pastagem como cultura antecessora (SO1) apresentaram maior acúmulo de carbono nos primeiros trinta centímetros de solo. Alguns trabalhos mostram que grande parte do sistema radicular de pastagens gramíneas concentra-se nos primeiros 20 cm do solo, o que proporciona maior aporte de carbono orgânico nestas camadas (CONTE et al., 2011), no entanto estes autores não encontraram

diferenças no estoque de carbono, diferindo do observado no presente estudo. Conforme Steiner et al. (2012) o EC do solo pode sofrer modificações em maior ou menor proporção a depender do sistema agrícola praticado, por isso, é um dos atributos mais sensíveis a alterações provocadas pelo manejo.

Considerações Finais

O COT teve similaridade entre as áreas, o que pode ser explicado devido às condições climáticas e oxigênio que foram homogêneas.

Em relação ao pH encontrado em todas as áreas, são considerados agronomicamente de acidez média.

O estoque de carbono do solo foi superior nas áreas de SO1, pousio e depastagem, devido ao maior acúmulo de carbono propiciados pela cobertura de solo.

Agradecimentos

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram de maneira significativa para o desenvolvimento desta pesquisa no âmbito da iniciação científica.

Primeiramente, agradeço a minha orientadora, Adriana Rodolfo Costa, pela orientação dedicada, paciência e conhecimento compartilhado ao longo deste processo. Sua orientação foi fundamental para a condução da pesquisa e meu crescimento acadêmico.

Aos colegas de laboratório e colaboradores, meu apreço pela troca de ideias, discussões produtivas e apoio mútuo. Cada interação enriqueceu a qualidade do trabalho e proporcionou um ambiente acadêmico estimulante.

À Unidade Universitária de Santa Helena de Goiás, pelo suporte logístico, acesso a recursos e infraestrutura essenciais para a realização desta pesquisa, expresse minha gratidão.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso deste projeto de iniciação científica.

Os autores agradecem à PrP/UEG pelo fomento Pró-Programas 2022 e Pró-Projetos “Projeto Institucional Bioinsumos” 2022 e 2023. A primeira autora agradece à UEG pela bolsa de iniciação científica e a quarta autora pela bolsa permanência.

Referências

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.

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo: Embrapa Floresta, 2002. 41p. (Documentos 73).

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, 2009.

CAVALLI, E. et al. Decomposition and release of nutrients from crop residues on soybean-maize cropping systems. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences.**, v.13, n. 2, 2018

CONTE, O.; Wesp, C. L.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. F.; Levien, R.; Nabinger, C.

Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 579-587, 2011.

CRUZ, E. A.; MOREIRA, G. R.; PAULA, M. O.; OLIVEIRA, A. C. M. Coeficiente de variação como medida de precisão em experimentos com tomate em ambiente protegido. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v.8, n.14; p. 220-233, 2012.

D'ANDRÉA, A. *et al.* Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, fev. 2004.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja orgânica**. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/soja-organica>. Acesso em: 17 set. 2023.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
FULIM, Laboratório de Análises Agronômica. Valores de referências. **Análises desolo**. Vitória, Espírito Santo, 2012.

INAGAKI, M. N.; JUNQUEIRA, C. P.; BELLON, P. P. Desafios da produção de soja orgânica como determinante à implantação de seu cultivo para fins comerciais na região oeste do Paraná. **Revista de Gestão Sustentável e Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 682-699, 2018.

MELO, D. M. A.; REIS, E. F.; COARACY, T. N.; SILVA, W. A. O.; ARAÚJO, A. E.

Cromatografia de Pfeiffer como indicadora agroecológica da qualidade do solo em agroecossistemas. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. e7653, 2019.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467p.

STEINER, F. *et al.* Estoque de carbono orgânico no solo afetado por adubação orgânica e sistemas de culturas no Sul do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2775-2787, 2012.

TEIXEIRA, P.C. et al. **Manual de métodos de análises de solo**. 3ª ed. rev. e ampl., Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

URQUIAGA, S. *et al.* Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica. **Informações Agrônomicas**, n. 130, p. 12-21, jun. 2010.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2105-14, 2011.

WALKLEY, A.; BLACK, J.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.