

Estoque de Carbono no Solo em Diferentes Sistemas de Produção do Meloeiro



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 97

Estoque de Carbono no Solo em Diferentes Sistemas de Produção do Meloeiro

Rubens Sonsol Gondim

Lindbergue Araujo Crisostomo

Aline de Holanda Nunes Maia

João Alencar de Sousa

Viviane da Silva Barros

Antônia Rosimeire da Cruz Silva

Leilson Costa Grangeiro

Antônio Abelardo Herculano Gomes Filho

Maíra Saldanha Duarte

Tamyris de Aquino Gondim

Eveline de Alencar Cordeiro

Marcos Chaves Gurgel

Arthur Abreu Alves Marques

Embrapa Agroindústria Tropical

Fortaleza, CE

2015

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical
Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici
CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Fone: (85) 3391-7100
Fax: (85) 3391-7109
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente: *Gustavo Adolfo Saavedra Pinto*

Secretária-executiva: *Celli Rodrigues Muniz*

Membros: *Janice Ribeiro Lima, Marlos Alves Bezerra, Luiz Augusto
Lopes Serrano, Marlon Vagner Valentim Martins,
Guilherme Julião Zocolo, Rita de Cássia Costa Cid,
Eliana Sousa Ximendes*

Supervisão editorial: *Marcos Antônio Nakayama*

Revisão de texto: *Marcos Antônio Nakayama*

Normalização: *Rita de Cássia Costa Cid*

Editoração eletrônica: *Arilo Nobre de Oliveira*

Fotos da capa: *Rubens Sonsol Gondim*

1ª edição

On-line (2015)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria Tropical

Estoque de carbono no solo em diferentes sistemas de produção do meloeiro / Rubens Sonsol Gondim... [et al.]. – Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2015.

32 p. : il. ; 14,8 cm x 21 cm. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 97).

Publicação disponibilizada on-line no formato PDF.

1. Melão. 2. Mudanças climáticas. 3. Carbono. 4. Estoque. I. Gondim, Rubens Sonsol. II. Crisostomo, Lindbergue Araujo. III. Maia, Aline de Holanda Nunes. IV. Sousa, João Alencar. V. Barros, Viviane da Silva. VI. Silva, Antônia Rosimeire da Cruz. VII. Granjeiro, Leilson Costa. VIII. Gomes Filho, Antônio Abelardo Herculano. IX. Duarte, Maíra Saldanha. X. Gondim, Tamyris de Aquino. XI. Cordeiro, Eveline de Alencar. XII. Gurgel, Marcos Chaves. XIII. Marques, Arthur Abreu Alves. XIV. Série.

CDD 635.611

© Embrapa 2015

Sumário

Resumo	4
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	21
Conclusão e Recomendação	30
Agradecimentos	30
Referências	31

Estoque de Carbono no Solo em Diferentes Sistemas de Produção do Meloeiro

Rubens Sonsol Gondim¹
Lindbergue Araujo Crisostomo²
Aline de Holanda Nunes Maia³
João Alencar de Sousa⁴
Viviane da Silva Barros⁵
Antônia Rosimeire da Cruz Silva⁶
Leilson Costa Grangeiro⁷
Antônio Abelardo Herculano Gomes Filho⁸
Maíra Saldanha Duarte⁹
Tamyris de Aquino Gondim¹⁰
Eveline de Alencar Cordeiro¹¹
Marcos Chaves Gurgel¹²
Arthur Abreu Alves Marques¹³

Resumo

Este trabalho avalia o efeito de diferentes sistemas de produção – plantio direto, adubação verde e uso do filme de polietileno – no estoque de carbono no solo. Um experimento foi conduzido de 2011 a 2013 com híbrido de melão Goldex na empresa Agrícola Famosa, localizada no Município de Tibau, RN. O experimento foi disposto em área de 156 m x 28 m, equivalente a 0,41 ha. Os tratamentos envolveram dois sistemas de preparo do solo: plantio direto (D) e plantio convencional (C) e 12 tratamentos envolvendo diferentes tipos

¹ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Recursos Hídricos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

² Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Química Agrícola e Solos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

³ Engenheira-agrônoma, D.Sc. em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

⁴ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Plantas Medicinais, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

⁵ Engenheira-agrônoma, M.Sc. em Irrigação e Drenagem, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

⁶ Engenheira-agrônoma, doutoranda em Fitotecnia da Universidade Federal do Semiárido, Mossoró, RN

⁷ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Fitotecnia, professor do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Semiárido, Mossoró, RN

⁸ Engenheiro-agrônomo, Fortaleza, CE

⁹ Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

¹⁰ Graduanda em Química pela Universidade Federal do Ceará, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical Fortaleza, CE

¹¹ Graduanda em Tecnologia de Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical Fortaleza

¹² Graduando em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

¹³ Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Ceará, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

de cobertura do solo. Foram realizadas amostragens de solo (0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm) anteriormente ao primeiro plantio das gramíneas e leguminosas; aos 15 meses; e aos 24 meses após o início do experimento. Para cada profundidade, foram calculadas as taxas de variação médias do CO₂-eq no solo (t ha⁻¹ ano⁻¹), representadas pela diferença (TX) entre o valor de CO₂-eq no final e no início do experimento, dividida pela duração do experimento (2 anos). De todos os tratamentos estudados, apenas os D10 (guandu + milho) e D11 (feijão de porco) apresentaram variações negativas no estoque de carbono na totalidade do perfil estudado, representando perdas de 14,6 t CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹ e 15,9 t CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, as quais não diferiram entre si. Para fins de armazenamento de carbono no solo, recomenda-se o sistema de produção de melão C12 (vegetação espontânea incorporada + milho + braquiária), o qual proporcionou elevação de 19,6 t CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹.

Termos para indexação: melão, mudanças climáticas, carbono, estoque.

Carbon Stock in Soil with Different Melon Production Systems

Abstract

This work evaluates the effect of different melon production systems: no tillage, green fertilization and use of plastic mulching on soil carbon pool. An experiment was conducted from 2011 to 2013 with hybrid yellow melon Goldex on Agrícola Famosa enterprise, in Tibau, Rio Grande do Norte State. The experiment was carried out on a 156 x 28 m plot, totalizing 0.41 ha area: no tillage (D) and conventional (C) involving 12 treatments with different soil cover types. Soil samples were done (0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm depths) before first planting; 15 months and 24 months after the beginning. Average variation rates of CO₂-eq on soil (t ha⁻¹ year⁻¹) for each depth were calculated, representing the difference (TX) between the final value and the one of the beginning, divided by experiment duration (2 years). From all treatments, only D10 (pigeon pea + millet) and D11 (jack bean) presented negative variation on soil carbon stock, on the whole soil depth (0-40 cm), represented losses of 14,6 t CO₂-eq ha⁻¹ year⁻¹ and 15,9 t CO₂-eq ha⁻¹ year⁻¹, respectively, which do not differ from each other. Aiming soil carbon accumulation, it's recommended conventional treatment C12 (native vegetation incorporated on soil + corn + brachiaria grass, which resulted on soil carbon stock increase of 19,6 t CO₂-eq ha⁻¹ year⁻¹.

Index terms: melon, climate change, carbon, stock.

Introdução

Follet (2001) apontou que a pesquisa a respeito de sequestro de carbono orgânico no solo sob irrigação é escassa e necessária, considerando a necessidade de avanço no conhecimento sobre suas relações com práticas de cultivo e características do solo, entre outros aspectos.

A biomassa vegetal e o solo podem potencialmente funcionar como estoque de carbono; dessa forma, a agricultura exerce importante papel na mitigação da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera e das mudanças climáticas, por meio do aumento da retenção de CO₂ pelo sequestro no solo (MEYER-AURICH et al., 2006). Sendo assim, o manejo de sistemas agrícolas com vistas a sequestrar o CO₂ atmosférico na forma de carbono orgânico no solo e minimizar as emissões de gases de efeito estufa tem sido proposto como uma solução parcial para a problemática da mudança climática (MORGAN et al., 2010).

O volume de CO₂ na atmosfera pode ser reduzido pelo aumento da biomassa vegetal e sequestro no solo. Há, porém, forte variação no potencial de sequestro entre as espécies cultivadas, regiões e práticas de manejo. Variações nas condições ambientais podem afetar o potencial de estoque, mesmo dentro de pequena área geográfica (FANG et al., 2007).

Denef et al. (2008) estudaram estoque de carbono de agroecossistemas irrigados por pivô central, em clima semiárido (Nebraska e Colorado), nas profundidades de 0-5 cm; 5-20 cm e 50-75 cm. Os autores encontraram maiores estoques de carbono na camada de 0-20 cm nos solos irrigados, quando comparados com a condição de sequeiro, mas consideraram as diferenças de carbono orgânico total (COT) pequenas, em relação ao carbono gerado pelas altas produtividades das áreas irrigadas. Dessa forma, esses autores sugeriram que perdas de carbono devido à decomposição nas áreas irrigadas limitaram o armazenamento de COT.

Um escopo de atividades que afeta taxas de adição ou decomposição da matéria orgânica do solo é especialmente afetado pelo distúrbio físico causado pelo preparo do solo, o qual rompe os macroagregados e os expõe aos processos microbiológicos. Em regiões tropicais úmidas, a decomposição da matéria orgânica no solo pode ser intensificada devido a temperaturas e precipitações elevadas. A manutenção de teores elevados de carbono orgânico do solo é, portanto, um fator crítico nos solos tropicais, também devido às suas implicações na fertilidade e capacidade de troca de cátions (ZINN et al., 2005).

Trabalhando em cambissolos de áreas irrigadas com bananeira no Nordeste do Brasil, Assis et al. (2010) observaram redução de estoques de carbono no solo, apontando a necessidade de adoção de práticas favoráveis ao seu acúmulo, particularmente em cultivos temporários.

O presente trabalho objetivou avaliar a variação do estoque de carbono entre 2011 e 2013, em diferentes sistemas de produção do meloeiro, envolvendo adubação verde e plantio direto.

Material e Métodos

O experimento foi instalado na empresa Agrícola Famosa, localizada no Município de Tibau, RN, em área de 156 m x 28 m, equivalente a 0,41 ha (Figura 1). Os tratamentos envolveram dois sistemas de preparo do solo – plantio direto (D) e plantio convencional (C) – e 12 tratamentos, envolvendo diferentes tipos de cobertura do solo:

- Plantio convencional (Figura 2) de melão em *mulch* plástico (filme de polietileno) rotacionado com adubação verde incorporada (C):
 - C1. Crotalária (CT) + filme de polietileno.
 - C2. Milheto (MT) + filme de polietileno.
 - C3. Crotalária + milheto (CT + MT) + filme de polietileno.
 - C4. Milho + braquiária (M + BR) + filme de polietileno.

- C5. Vegetação espontânea (VE)⁽¹⁾ + filme de polietileno.
- C6. Solo sem cobertura vegetal + filme de polietileno.
- C7. Vegetação espontânea (VE)⁽¹⁾ + composto + filme de polietileno.
- C8. Guandu + filme de polietileno.
- C9. Guandu + milho (MT) + filme de polietileno.
- C10. Feijão de porco + filme de polietileno.
- C11. Feijão de porco + milho (MT) + filme de polietileno.
- C12. Vegetação espontânea (VE)⁽¹⁾ + milho + braquiária + filme de polietileno.
- Plantio direto (Figura 3) com leguminosas ou gramíneas (D):
 - D1. Crotalária (CT).
 - D2. Milheto (MT).
 - D3. Crotalária + milho (CT + MT).
 - D4. Milho + braquiária (M + BR).
 - D5. Vegetação espontânea (VE)⁽¹⁾.
 - D6. Solo sem cobertura vegetal.
 - D7. Vegetação espontânea (VE)⁽¹⁾ + composto + filme de polietileno (*mulch* plástico em plantio direto).
 - D8. Guandu.
 - D9. Guandu + milho.
 - D10. Feijão de porco.
 - D11. Feijão de porco + milho.
 - D12. Vegetação espontânea (VE)⁽¹⁾ + milho + braquiária.

⁽¹⁾ Espécies nativas que surgem espontaneamente no local quando a área é deixada em repouso.

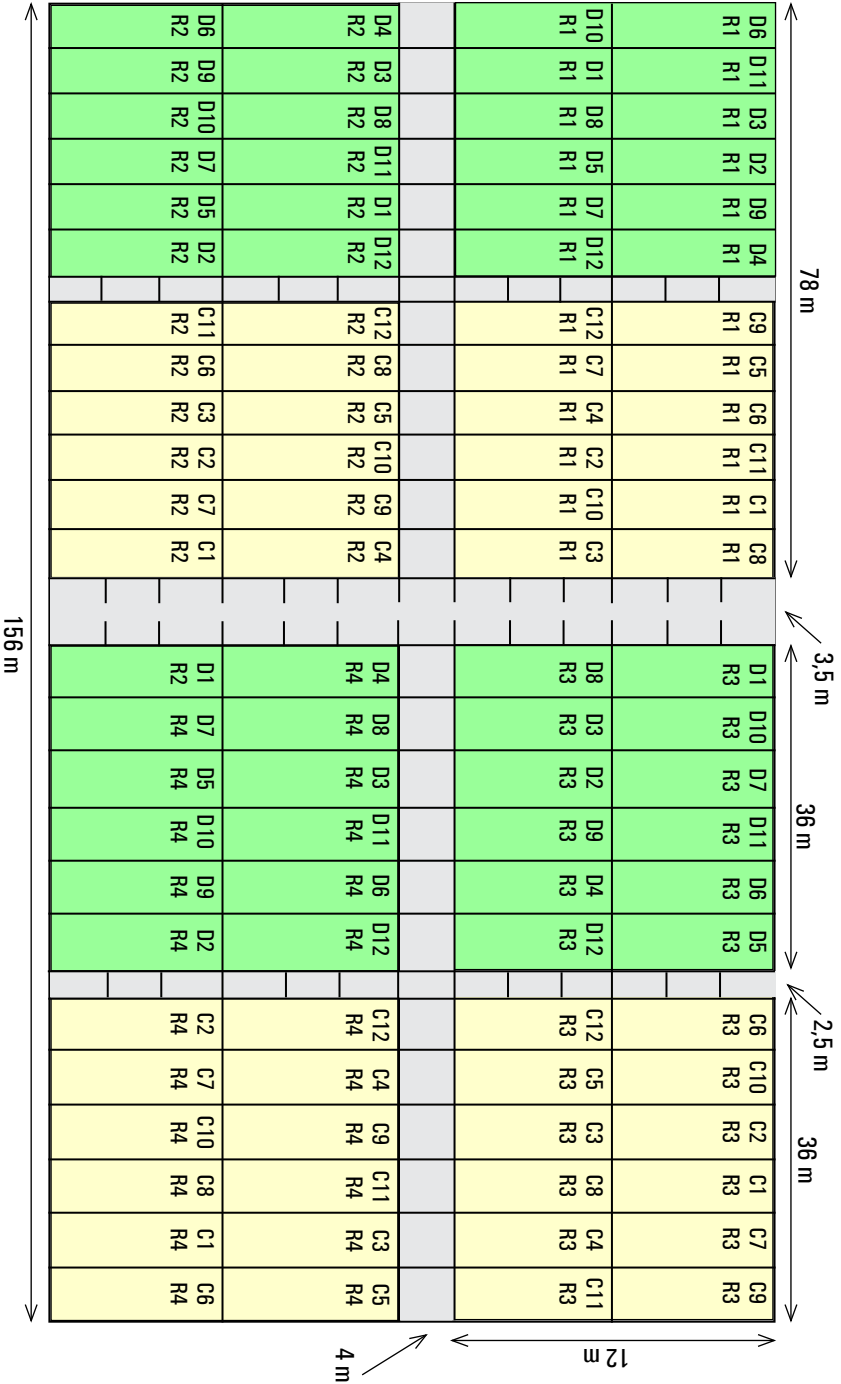


Figura 1. Croqui do Experimento.

C: convencional; D: direto; R: repetição.



Fotos: João Alencar de Sousa

Figura 2. Plantio convencional (C) rotacionado com leguminosas ou gramíneas incorporadas.



Fotos: João Alencar de Sousa

Figura 3. Melão em plantio direto (D).

Durante os 3 anos, foi plantado o híbrido de melão Goldex, com um ciclo de produção em média de 70 dias. Os tratamentos em sistema convencional de preparo de solo e os tratamentos sobre sistema de plantio direto após a implementação do melão foram conduzidos de acordo com práticas adotadas pela empresa, utilizando-se irrigação por gotejamento com emissores de vazão de 1,7 litro por hora, espaçados de 0,35 m. As adubações foram realizadas com base na análise química do solo e nas exigências nutricionais da cultura, por fertirrigação, utilizando-se $137,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de fertilizante mineral, $152,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2SO_4 , $51,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $38,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de biofertilizante, $1,98 \text{ kg ha}^{-1}$ de ácido fosfórico, e $213,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de KNO_3 . Apenas nos tratamentos C7 e D7 foram aplicadas 5 t ha^{-1} de composto orgânico (Figura 4). Também foram realizadas práticas culturais para controle de plantas daninhas como capinas manuais, e pulverizações com fungicidas e inseticidas, para controle de pragas e doenças.

Foto: João Alencar de Sousa



Figura 4. Composto orgânico aplicado no sistema convencional (C).

Foram realizadas amostragens de solo: a) anteriormente ao primeiro plantio das gramíneas e leguminosas (abril de 2011); b) aos 15 meses após o início do experimento (julho de 2012); c) aos 24 meses após o início do experimento (abril de 2013). Cada amostra foi composta de 6 subamostras, coletadas em 6 pontos diferentes na parcela experimental de 36 m², conforme Figura 5. As amostras georreferenciadas (Figura 6) foram coletadas nas profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm, com utilização de uma sonda de aço. Em seguida, foram secas, destorroadas e passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha.



Foto: Rubens Sonsol Gondim

Figura 5. Coleta das amostras de solos nas parcelas experimentais.

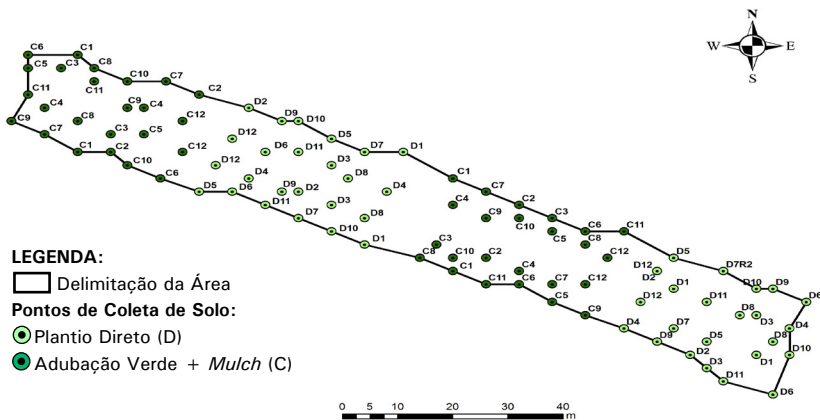


Figura 6. Georreferenciamento dos pontos de coleta de amostras de solos na área experimental.

Plantas adultas (65 dias após plantio) também foram coletadas (Figura 7) e separadas em: raiz – com auxílio de uma peneira (Figura 8) –, parte aérea e frutos, para a determinação da matéria fresca. As partes foram levadas à estufa de circulação forçada de ar a aproximadamente 65 °C, até peso constante, para a obtenção da matéria seca. Em seguida, os materiais vegetais foram moídos e submetidos à análise química para determinação da concentração de carbono.



Figura 7. Coleta do material vegetal.



Figura 8. Coleta de raízes com auxílio de uma peneira.

A determinação do carbono orgânico total (COT) nas amostras de solos e de tecidos vegetais foi baseada nos procedimentos apresentados por Walkley e Black (1934), com adaptações. De modo geral, o método baseia-se na oxidação do carbono orgânico contido na amostra por via úmida com dicromato de potássio, ácido sulfúrico concentrado e aquecimento externo. O dicromato remanescente é determinado por titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal.

No experimento, 0,15 g de amostra vegetal foi pesada e transferida para um Erlenmeyer de 250 mL, onde foram adicionados 50 mL da solução de $K_2Cr_2O_7$ 0,20 M e 50 mL de H_2SO_4 concentrado. Adicionou-se condensador na boca do Erlenmeyer, e a amostra foi colocada em chapa aquecedora por 30 minutos à temperatura de 140 °C. O conteúdo do Erlenmeyer foi transferido para um balão volumétrico de 250 mL, onde o volume foi aferido com água destilada. Em Erlenmeyer de 250 mL, foram adicionados 50 mL da amostra, 50 mL de água destilada, 10 mL de H_3PO_4 concentrado e três gotas do indicador difenilamina. A amostra foi titulada com solução com sulfato ferroso amoniacal 0,5 M até a viragem da cor azul escura para verde brilhante. Na prova em branco, foi adotado o mesmo procedimento empregado nas amostras de tecido vegetal (BRASIL, 2007).

O cálculo para determinação do COT utilizou a seguinte equação:

$$\%COT = 9C (Vb - Va) / G \quad \text{Eq. 1}$$

em que:

%COT é o carbono orgânico total.

Vb é o volume gasto na titulação na prova em branco (em mL).

Va é o volume gasto na titulação da amostra (em mL).

C é a concentração da solução de sulfato ferroso amoniacal ($C = 2,0/Vb$).

G é a massa inicial da amostra, em gramas.

Carbono orgânico total no solo

As amostras de solo foram moídas em gral de porcelana e passadas em peneira com abertura de malha de 0,05 mm. Em seguida, 0,5 g da amostra peneirada foi pesada e transferida para Erlenmeyer de 250 mL, onde foram adicionados 10 mL da solução $K_2Cr_2O_7$ 0,167 M e 5 mL de H_2SO_4 concentrado. Posteriormente, adicionou-se condensador na boca do Erlenmeyer, e a amostra foi colocada em chapa aquecedora para fervura branda por 5 minutos. Em seguida, a amostra foi resfriada, e foram adicionados 80 mL de água destilada, 2 mL de H_3PO_4 concentrado e três gotas de difenilamina 10 g L^{-1} . A amostra foi titulada com solução com sulfato ferroso amoniacal 0,4 M até a viragem da cor azul escura para verde brilhante. Na prova em branco, foi adotado o mesmo procedimento empregado nas amostras de material vegetal (SILVA et al., 2009).

O cálculo para determinação do carbono no solo utilizou a seguinte equação:

$$C \text{ (g kg}^{-1}\text{)} = [(V_b - V_a) \times C_{Fe^{2+}} \times 0,003 \times 1000] / 0,5 \quad \text{Eq. 2}$$

em que:

C é a quantidade de carbono no solo.

V_b é o volume gasto na titulação na prova em branco (em mL).

V_a é o volume gasto na titulação da amostra (em mL).

$C_{Fe^{2+}}$ é a concentração de $Fe^{2+} = (10 \times 0,167 \times 6) / V_b$.

O estoque de carbono no solo foi determinado multiplicando-se:

$$C \text{ (g kg}^{-1}\text{)} \times 10 \times d \times V_{\text{solo}} \quad \text{Eq. 3}$$

em que:

d é a densidade do solo (g cm^{-3}), sendo determinada para cada parcela em cada profundidade, por meio de amostra indeformada, utilizando cilindro de Uhland de volume conhecido (Tabela 1).

V_{solo} é a área (A_s) da superfície multiplicada pela profundidade da camada do perfil (0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 m; 20-40 cm).

A_s foi determinada pela área de 36 m^2 da parcela experimental. Extrapolando-se o estoque para 10.000 m^2 , temos C em Mg ha^{-1} .

Para transformação de carbono em CO₂ equivalente (CO₂-eq), considerou-se uma tonelada de carbono correspondente a 3,67 (44/12) toneladas de CO₂ e os átomos de C e O com pesos atômicos de 12 e 16, respectivamente (RONQUIM, 2007).

Tabela 1. Densidade do solo nas camadas de solo de 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm, nos diversos tratamentos e mata nativa.

Tratamento/ repetição	Profundidade/densidade			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
C1R1	1,48	1,60	1,46	1,68
C1R2	1,54	1,62	1,64	1,67
C1R3	1,54	1,67	1,80	1,88
C1R4	1,75	1,89	1,86	1,90
C2R1	1,77	1,73	1,78	1,82
C2R2	1,54	1,63	1,58	1,56
C2R3	1,64	1,83	1,82	1,95
C2R4	1,50	1,43	1,56	1,76
C3R1	1,82	1,76	1,80	1,80
C3R2	1,64	1,79	1,73	1,74
C3R3	1,69	1,82	1,83	1,91
C3R4	1,72	1,74	1,76	1,90
C4R1	1,75	1,83	1,79	1,81
C4R2	1,67	1,76	1,81	1,76
C4R3	1,63	1,72	1,76	1,82
C4R4	1,70	1,86	1,93	1,91
C5R1	1,83	1,88	1,84	1,86
C5R2	1,75	1,71	1,75	1,85
C5R3	1,59	1,80	1,85	1,92
C5R4	1,71	1,76	1,81	1,95
C6R1	1,71	1,81	1,81	1,82
C6R2	1,59	1,73	1,73	1,77
C6R3	1,74	1,80	1,83	1,84
C6R4	1,63	1,74	1,83	2,01
C7R1	1,71	1,78	1,70	1,82
C7R2	1,44	1,63	1,66	1,71
C7R3	1,67	1,74	1,83	1,79
C7R4	1,53	1,49	1,71	1,58
C8R1	1,54	1,53	1,57	1,53

(Continua...)

Tabela 1. Continuação.

Tratamento/ repetição	Profundidade/densidade			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
C8R2	1,68	1,72	1,78	1,73
C8R3	1,63	1,84	1,89	2,00
C8R4	1,66	1,72	1,79	1,86
C9R1	1,70	1,67	1,68	1,74
C9R2	1,76	1,89	1,90	1,91
C9R3	1,55	1,70	1,75	1,90
C9R4	1,72	1,80	1,87	1,85
C10R1	1,73	1,94	1,81	1,91
C10R2	1,72	1,86	1,84	1,80
C10R3	1,56	1,63	1,56	1,71
C10R4	1,63	1,51	1,67	1,63
C11R1	1,50	1,65	1,70	1,70
C11R2	1,60	1,68	1,68	1,69
C11R3	1,67	1,73	1,71	1,82
C11R4	1,64	1,71	1,77	1,89
C12R1	1,67	1,80	1,80	1,77
C12R2	1,64	1,65	1,71	1,71
C12R3	1,76	1,93	1,92	1,89
C12R4	1,75	1,74	1,87	1,91
D1R1	1,59	1,65	1,72	1,75
D1R2	1,61	1,68	1,78	1,76
D1R3	1,77	1,73	1,77	1,76
D1R4	1,73	1,96	1,89	1,81
D2R1	1,55	1,52	1,67	1,63
D2R2	1,66	1,82	1,81	1,78
D2R3	1,62	1,89	1,83	1,83
D2R4	1,73	1,96	1,89	1,81
D3R1	1,59	1,57	1,59	1,55
D3R2	1,60	1,65	1,77	1,69
D3R3	1,83	1,73	1,64	1,76
D3R4	1,60	1,77	1,77	1,77
D4R1	1,58	1,53	1,64	1,61
D4R2	1,56	1,54	1,76	1,75
D4R3	1,68	1,80	1,83	1,86
D4R4	1,86	2,00	1,81	1,79
D5R1	1,56	1,71	1,75	1,81

(Continua...)

Tabela 1. Continuação.

Tratamento/ repetição	Profundidade/densidade			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
D5R2	1,59	1,70	1,73	1,69
D5R3	1,74	1,58	1,57	1,71
D5R4	1,61	1,67	1,72	1,78
D6R1	1,58	1,57	1,70	1,62
D6R2	1,58	1,63	1,80	1,76
D6R3	1,69	1,71	1,76	1,74
D6R4	1,77	1,86	1,84	1,81
D7R1	1,58	1,74	1,77	1,76
D7R2	1,60	1,65	1,72	1,73
D7R3	1,60	1,56	1,89	1,64
D7R4	1,61	1,79	1,83	1,80
D8R1	1,65	1,58	1,75	1,77
D8R2	1,59	1,64	1,66	1,71
D8R3	1,69	1,76	1,77	1,82
D8R4	1,76	2,00	2,03	2,01
D9R1	1,54	1,60	1,55	1,61
D9R2	1,55	1,69	1,68	1,62
D9R3	1,66	1,82	1,90	1,85
D8R4	1,73	1,83	1,77	1,67
D10R1	1,52	1,68	1,69	1,69
D10R2	1,66	1,68	1,74	1,74
D10R3	1,51	1,58	1,52	1,69
D10R4	1,64	1,72	1,75	1,79
D11R1	1,68	1,61	1,75	1,74
D11R2	1,60	1,68	1,78	1,77
D11R3	1,66	1,75	1,70	1,77
D11R4	1,76	1,82	1,80	1,78
D12R1	1,62	1,60	1,74	1,78
D12R2	1,68	1,72	1,77	1,76
D12R3	1,61	1,80	1,82	1,83
D12R4	1,65	1,79	1,80	1,86

Para cada profundidade, foram calculadas as taxas de variação médias do CO₂-eq no solo (t ha⁻¹ ano⁻¹), representadas pela diferença (TX) entre o valor de CO₂-eq no final e no início do experimento, dividida pela duração do experimento (2 anos).

Os tratamentos são constituídos de combinações de sistema de plantio (convencional ou direto) e tipos de cobertura vegetal e mais dois tratamentos adicionais: solo sem cobertura vegetal (C6) e solo sem cobertura vegetal com uso de filme de polietileno (D6).

Como o experimento não seguiu um delineamento padrão, por questões operacionais, as análises estatísticas foram realizadas baseadas em pressuposições de independência, normalidade e homogeneidade de variâncias, utilizando uma abordagem baseada em modelos (*model based approach*) ao invés de uma abordagem em delineamentos (*design based approach*).

Foi proposto o seguinte modelo para explicar a variabilidade entre os valores de TX observados em cada parcela:

$$TX_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij} \quad \text{Eq. 4}$$

em que:

TX_{ij} é a taxa média de variação no estoque de carbono no solo observada no tratamento i e no bloco j.

μ é a média geral.

T_i é o efeito do tratamento i (C1...C12, D1...D12) do bloco B_j (j = 1,2,3,4) e e_{ij} o erro aleatório associado a cada observação.

Para avaliar se houve variação significativa do CO₂-eq ao longo do tempo, foram realizados testes t bilaterais para a hipótese de variação nula do CO₂-eq no solo em cada tratamento. As comparações das TX entre tratamentos com sistema convencional e direto, para uma mesma cobertura vegetal, foram feitos via teste t para contrastes. O mesmo

tipo de teste foi também utilizado para comparar TX dos tratamentos com diferentes coberturas, dentro dos sistemas de plantio direto ou convencional. Para essas comparações, foram considerados apenas os tratamentos com médias significativas de TX (ausência de evidência contra a hipótese $TX = 0$).

Resultados e Discussão

Na Figura 9, são apresentadas as taxas médias de variação do CO_2 -eq no solo ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), no período de 2011 a 2013, nas camadas de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e 20-40 cm (D). Essas taxas apresentam-se predominantemente negativas para a maioria dos tratamentos avaliados. Os únicos tratamentos em que houve ganhos significativos de carbono (barras hachuradas) foram o C1 (plantio convencional + crotalária), na camada de 20-40 cm, e o C12 (plantio convencional, cobertura de vegetação espontânea incorporada + milho + braquiária), ambos nas camadas de 10-20 cm e 20-40 cm, sendo este último o tratamento que mais se destacou em termos de armazenamento de carbono no solo, diferindo dos demais em que houve variação no período experimental.

É importante mencionar que o tratamento C12 estocou mais carbono, possivelmente pela maior quantidade de biomassa adicionada ao solo, proveniente da cultura do milho, cuja produção de resíduos é superior às demais espécies utilizadas na rotação, nos demais tratamentos.

Vale também ressaltar que a incorporação dos resíduos ao solo acelerou o aporte de carbono adicional neste experimento nos tratamentos convencionais (C), o que pode explicar o armazenamento superior em relação aos tratamentos de plantio direto (D).

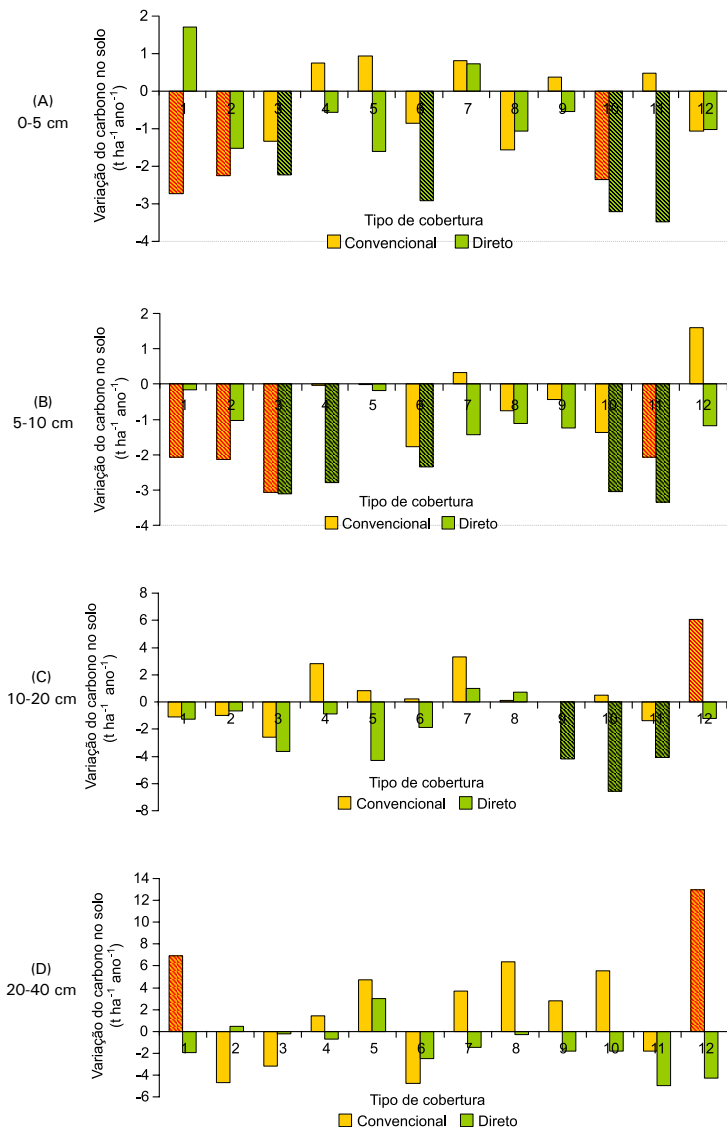


Figura 9. Taxas médias de variação de estoque de carbono no solo (t de CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹), no período de 2011 a 2013, nos tratamentos avaliados, nas camadas de 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e 20-40 cm (D). Barras hachuradas correspondem a variações significativas ao nível de 5% ($p < 0,05$). Os tipos de cobertura vegetal variam de 1 a 12 em cada um dos sistemas de plantio (convencional ou direto).

Na Tabela 2, são apresentadas as comparações das TX entre tratamentos com sistema convencional (C) e direto (D). Para uma mesma cobertura vegetal, foram feitos testes t para contrastes (tratamentos C1 a C12, plantio com adubação verde incorporada rotacionada com melão em *mulch* plástico, contrastados respectivamente com os tratamentos D1 a D12, melão em plantio direto com leguminosas ou gramíneas).

Tabela 2. Estimativas de contrastes entre médias da variação do estoque de carbono no plantio convencional e direto, para cada tipo de cobertura, em várias profundidades do solo.

Camada (m)	Contraste	Estimativa	Erro-padrão	Estatística t	Valor p ⁽¹⁾
0-5	C1-D1	-4,43	1,56	-2,84	0,01
0-5	C2-D2	-0,73	1,56	-0,47	0,64
0-5	C3-D3	0,91	1,56	0,58	0,56
0-5	C4-D4	1,32	1,56	0,84	0,40
0-5	C5-D5	2,55	1,56	1,63	0,11
0-5	C6-D6	2,07	1,56	1,33	0,19
0-5	C7-D7	0,08	1,56	0,05	0,96
0-5	C8-D8	-0,50	1,56	-0,32	0,75
0-5	C9-D9	0,90	1,56	0,58	0,56
0-5	C10-D10	0,84	1,56	0,54	0,59
0-5	C11-D11	3,96	1,56	2,54	0,01
0-5	C12-D12	1,50	1,56	0,96	0,34
5-10	C1-D1	-1,91	1,31	-1,46	0,15
5-10	C2-D2	-1,10	1,31	-0,84	0,41
5-10	C3-D3	0,04	1,31	0,03	0,97
5-10	C4-D4	2,76	1,31	2,11	0,04
5-10	C5-D5	0,17	1,31	0,13	0,90
5-10	C6-D6	0,57	1,31	0,43	0,67
5-10	C7-D7	1,77	1,31	1,35	0,18
5-10	C8-D8	0,37	1,31	0,28	0,78
5-10	C9-D9	0,80	1,31	0,61	0,55

(Continua...)

Tabela 2. Continuação.

Camada (m)	Contraste	Estimativa	Erro-padrão	Estatística t	Valor p ⁽¹⁾
5-10	C10-D10	1,66	1,31	1,27	0,21
5-10	C11-D11	1,28	1,31	0,98	0,33
5-10	C12-D12	-0,89	1,31	-0,68	0,50
10-20	C1-D1	0,14	2,66	0,05	0,96
10-20	C2-D2	-0,32	2,66	-0,12	0,90
10-20	C3-D3	1,08	2,66	0,40	0,69
10-20	C4-D4	3,71	2,66	1,39	0,17
10-20	C5-D5	5,10	2,66	1,91	0,06
10-20	C6-D6	2,10	2,66	0,79	0,43
10-20	C7-D7	2,36	2,66	0,89	0,38
10-20	C8-D8	-0,65	2,66	-0,24	0,81
10-20	C9-D9	4,20	2,66	1,58	0,12
10-20	C10-D10	7,03	2,66	2,64	0,01
10-20	C11-D11	2,73	2,66	1,02	0,31
10-20	C12-D12	-0,14	2,66	-0,05	0,96
20-40	C1-D1	8,87	4,59	1,93	0,06
20-40	C2-D2	-5,19	4,59	-1,13	0,26
20-40	C3-D3	-2,94	4,59	-0,64	0,52
20-40	C4-D4	2,17	4,59	0,47	0,64
20-40	C5-D5	1,67	4,59	0,36	0,72
20-40	C6-D6	-2,25	4,59	-0,49	0,63
20-40	C7-D7	5,16	4,59	1,12	0,26
20-40	C8-D8	6,64	4,59	1,45	0,15
20-40	C9-D9	4,57	4,59	1,00	0,32
20-40	C10-D10	7,37	4,59	1,61	0,11
20-40	C11-D11	3,14	4,59	0,69	0,50
20-40	C12-D12	2,44	4,59	0,53	0,60

⁽¹⁾ Nível de significância nominal do teste t para contrastes. Valores inferiores a 0,05 indicam significância do efeito do tipo de plantio sobre a variação no estoque de carbono.

Observa-se a influência do sistema de plantio (teste t para contrastes; $p < 0,05$) apenas para os tipos de cobertura C1 (crotalária) e C11 (feijão de porco mais milheto), na camada de 0-5 cm; C4 (milho mais braquiária), na camada de 5-10 cm; e C10 (feijão de porco), na camada de 10-20 cm.

O plantio direto armazena mais carbono apenas na camada 0-5 cm no tratamento D1 (crotalária). Esse resultado é semelhante ao de Bona et al. (2006), os quais observaram que a adição de resíduos vegetais na superfície contribuiu para o acúmulo de C orgânico apenas nas camadas superficiais do solo em plantio direto.

Utilizando-se milho mais braquiária (C4, 5-10 cm), feijão de porco mais milheto (C11, 0-5 cm) e feijão de porco (C10; 10-20 cm), os tratamentos convencionais armazenaram mais carbono, possivelmente devido à incorporação das espécies em rotação. Smith et al. (2010) alertam sobre o fato de o conteúdo de carbono em fertilizantes orgânicos (assumido como 35% a 55% da matéria seca) influenciar no balanço de carbono no solo.

Os resultados de redução de carbono podem ser explicados pela decomposição promovida pelas temperaturas elevadas e presença de umidade oriunda da irrigação, conforme constatado em estudo no Rio Grande do Sul por Bona et al. (2006), que concluíram que o efeito da irrigação aumentou a adição de C pelas culturas; porém isso não refletiu em aumento no estoque de C orgânico na faixa de 0-20 cm pelo fato de a irrigação ter aumentado a taxa de decomposição da matéria orgânica, evidenciando a importância da definição criteriosa de sistemas de manejo de solo em áreas irrigadas em regiões de clima quente. Concluíram então que o aumento da adição de resíduos vegetais pela irrigação foi contrabalançado pelo aumento das taxas de decomposição da matéria orgânica do solo, sendo nulo o efeito dessa prática nos estoques de C orgânico do solo. Além disso, o efeito da irrigação na taxa de decomposição microbiana da matéria orgânica do solo foi corroborado pelas maiores taxas de decomposição dos resíduos vegetais em condições de suplementação hídrica.

Por outro lado, Bona et al. (2008) concluíram que preparo de solo convencional e irrigação reduziram significativamente o estoque de carbono em comparação com plantio direto não irrigado. Apontaram que, possivelmente, a irrigação aumenta a taxa de decomposição da matéria orgânica, havendo necessidade de maior aporte de fitomassa que em áreas não irrigadas.

Nas Tabelas 3 e 4, são apresentados os resultados das comparações entre tipos de cobertura vegetal dentro de cada sistema de plantio (convencional ou direto). Foram considerados apenas os contrastes entre variações de estoque (TX) significativas: as variações consideradas nulas não foram comparadas entre si. No plantio convencional, o tipo de cobertura C12 (vegetação espontânea + milho + braquiária) apresentou variação de estoque superior ao tipo C1 (crotalária), na camada de 5-10 cm e superior ao tipo C11 (feijão de porco + milheto), na camada de 20-40 cm (Teste t para contrastes, $p < 0,05$).

Tabela 3. Estimativas de contrastes entre médias da variação do estoque de carbono nos tratamentos com plantio convencional, para cada tipo de cobertura, em várias profundidades do solo.

Profundidade (cm)	Contraste	Estimativa	Erro-padrão	Estatística t	Valor p ⁽¹⁾
0-5	C1-C2	-0,48	1,56	-0,31	0,76
0-5	C1-C10	-0,36	1,56	-0,23	0,82
0-5	C2-C10	0,12	1,56	0,08	0,94
5-10	C1-C2	0,07	1,31	0,05	0,96
5-10	C1-C3	1,00	1,31	0,76	0,45
5-10	C1-C11	0,00	1,31	0,00	1,00
5-10	C2-C3	0,92	1,31	0,70	0,48
5-10	C1-C12	-3,66	1,31	-2,80	0,01
5-10	C2-C11	-0,07	1,31	-0,05	0,96
5-10	C3-C11	-0,99	1,31	-0,76	0,45
20-40	C11-C12	-14,82	4,59	-3,23	0,00

⁽¹⁾ Nível de significância nominal do teste t para contrastes. Valores inferiores a 0,05 indicam significância do efeito do tipo de plantio sobre a variação no estoque de carbono.

No sistema convencional, foram observadas perdas de carbono para os tratamentos C1, C2 e C10 (camada de 0-5 cm) e para C1, C2, C3 e C11 na camada de 5-10 cm (Figura 9, barras hachuradas), que não diferiram entre si nas respectivas camadas (Tabela 3, teste t, $p > 0,45$).

No sistema de plantio direto, na camada de 0-5 cm, as maiores perdas foram para os tratamentos C3 (crotalária + milho), C6 (solo sem cobertura vegetal), C10 (feijão de porco) e C11 (feijão de porco + milho) (Figura 9, barras hachuradas), que não diferiram entre si (Tabela 4, teste t, $p > 0,21$).

Tabela 4. Estimativas de contrastes entre médias da variação do estoque de carbono nos tratamentos com plantio direto, para cada tipo de cobertura, em várias profundidades do solo.

Profundidade (cm)	Contraste ⁽¹⁾	Estimativa	Erro-padrão	Estatística t	Valor p ⁽²⁾
0-5	D3-D6	0,68	1,56	0,44	0,66
0-5	D3-D10	0,96	1,56	0,62	0,54
0-5	D3-D11	1,25	1,56	0,80	0,42
0-5	D6-D10	0,29	1,56	0,18	0,86
0-5	D6-D11	0,57	1,56	0,37	0,71
0-5	D10-D11	0,29	1,56	0,18	0,85
5-10	D3-D4	-0,31	1,31	-0,23	0,82
5-10	D3-D6	-0,76	1,31	-0,58	0,57
5-10	D3-D10	-0,07	1,31	-0,05	0,96
5-10	D3-D11	0,24	1,31	0,18	0,85
5-10	D4-D6	-0,45	1,31	-0,34	0,73
5-10	D4-D7	-1,67	1,31	-1,28	0,21
5-10	D4-D10	0,24	1,31	0,18	0,86
5-10	D4-D11	0,55	1,31	0,42	0,68
10-20	D9-D10	2,38	2,66	0,89	0,38
10-20	D9-D11	-0,08	2,66	-0,03	0,98
10-20	D10-D11	-2,45	2,66	-0,92	0,36

⁽¹⁾ Foram considerados apenas os contrastes entre variações de estoque significativas: as variações consideradas nulas não foram comparadas entre si.

⁽²⁾ Nível de significância nominal do teste t para contrastes. Valores inferiores a 0,05 indicam significância do efeito do tipo de plantio sobre a variação no estoque de carbono.

Canqui e Lal (2009) advertem que as condições climáticas de uma ecorregião particular afetam a taxa de decomposição dos resíduos e seu acúmulo na forma de carbono orgânico no solo, de forma que maiores quantidades de resíduos agrícolas retornados aos solos em temperaturas mais elevadas são requeridas para manutenção ou elevação de níveis de carbono orgânico no solo, especialmente em temperaturas acima de 20 °C.

No plantio direto, nenhuma das camadas do solo apresentou influência do tipo de cobertura nos tratamentos com variação significativa de estoque (teste t para contrastes $p > 0,21$) (Tabela 4).

Considerando todo o perfil analisado do solo (0-40 cm), houve aumento no estoque apenas para o tratamento C12 (19,6 t CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹) e perdas nos D10 (-14,6 t CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹) e D11 (-15,9 t CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹), os quais não diferiram entre si (Figura 10).

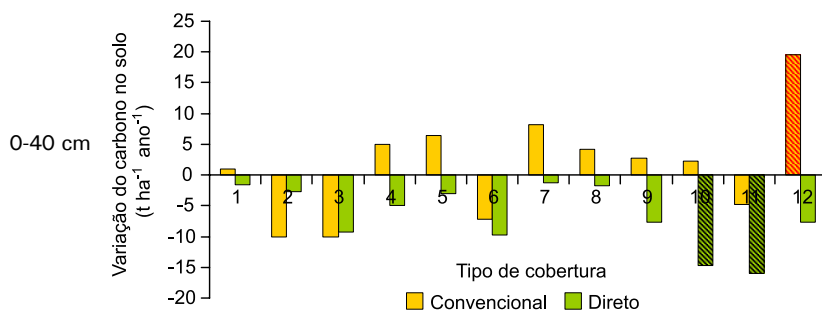


Figura 10. Taxas médias de variação estoque de carbono no solo (t de CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹), no período de 2011 a 2013, nos tratamentos avaliados, no perfil do solo (0-40 cm). Barras hachuradas correspondem a variações significativas ao nível de 5% ($p < 0,05$). Os tipos de cobertura vegetal variam de 1 a 12 em cada um dos sistemas de plantio (convencional ou direto).

Em cultivo de bananeira irrigada em Paraipaba (CE), Gondim et al. (2012) observaram que a quantidade de biomassa de resíduos deixada sobre o solo não afetou a variação no estoque de carbono do solo, provavelmente pelo fato de a quantidade de resíduo ser insuficiente

para compensar as reduções nos estoques decorrentes da degradação favorecida pelas condições de umidade no solo irrigado e altas temperaturas do ambiente do experimento. Os autores recomendaram avaliar o efeito da incorporação da fitomassa no subsolo sobre os estoques de carbono, em ambiente com menor teor de oxigênio, em vez da disposição na superfície. Isso corrobora com o aumento de estoques de carbono maior quando se incorpora a fitomassa quando comparado com plantio direto.

Tabela 5. Taxas médias de variação de estoque de carbono no solo (t de CO₂-eq ha⁻¹ ano⁻¹), no período de 2011 a 2013, nos tratamentos avaliados, considerando todo o perfil analisado (0-40 cm).

Tratamento	Média	Erro padrão	Valor p
C1	1,03	5,18	0,84
C2	-10,10	5,18	0,06
C3	-10,13	5,18	0,05
C4	4,98	5,18	0,34
C5	6,41	5,18	0,22
C6	-7,18	5,18	0,17
C7	8,15	5,18	0,12
C8	4,14	5,18	0,43
C9	2,72	5,18	0,60
C10	2,26	5,18	0,66
C11	-4,81	5,18	0,36
C12	19,60	5,18	0,00
D01	-1,64	5,18	0,75
D02	-2,76	5,18	0,60
D03	-9,22	5,18	0,08
D04	-4,98	5,18	0,34
D05	-3,07	5,18	0,55
D06	-9,68	5,18	0,07
D07	-1,22	5,18	0,81
D08	-1,73	5,18	0,74
D09	-7,74	5,18	0,14
D10	-14,64	5,18	0,01
D11	-15,92	5,18	0,00
D12	-7,73	5,18	0,14

Os tratamentos cujas perdas de carbono foram evitadas já podem ser considerados resultados positivos, dado o desafio de manutenção do estoque de carbono em solos tropicais sob irrigação, sendo mais desejável seu acúmulo.

Carbono na planta

A Tabela 6 apresenta o conteúdo de carbono (g kg^{-1}) nos tecidos vegetais, nos diferentes compartimentos da planta (parte aérea, fruto e raiz), não apresentando grandes diferenças entre si.

Tabela 6. C (g/kg) nos compartimentos vegetais, médias e desvios.

Parte aérea	Fruto	Raiz
366,2 \pm 30,3	371,3 \pm 21,6	346,2 \pm 22,6

Conclusão e Recomendação

As taxas de variação do estoque de carbono no solo e o efeito dos tratamentos estudados mostraram-se diferenciados nas diversas camadas do perfil monitoradas.

De todos os tratamentos estudados, apenas os D10 (guandu + milho) e D11 (feijão de porco) apresentaram variações negativas no estoque de carbono no perfil estudado, não sendo, portanto, recomendados quando o objetivo for acúmulo de carbono no solo. Todos os demais apresentaram manutenção ou aumento do estoque de carbono.

Para fins de aumento do armazenamento de carbono no solo, recomenda-se o sistema de produção de melão C12 (vegetação espontânea incorporada + milho + braquiária, uma vez que foi o único tratamento que apresentou variação positiva no estoque de carbono, considerando o todo o perfil de solo estudado (0-40 cm) e o período monitorado.

Agradecimentos

Trabalho custeado com recursos do CNPq Repensa Melão e Embrapa Macroprograma 2.

Referências

ASSIS, C. P.; OLIVEIRA, T. S. de; DANTAS, J. de A. da N.; MENDONÇA, E. de S. Organic matter and phosphorus fractions in irrigated agroecosystems in a semi-arid region of Northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 138, n. 1-2, p. 74-82, 2010.

BONA, F. D. de; BAYER, C.; BERGAMASCHI, H.; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, n. 5, p. 911-920, 2006.

BONA, F. D. de; BAYER, C.; DIECKOW, J. BERGAMASCHI, H. Soil quality assessed by carbon management index in a subtropical Acrisol subjected to tillage systems and irrigation. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, n. 5, p. 469-475, 2008.

BRASIL. Instrução Normativa SDA nº 28, de 27 julho de 2007. **Diário Oficial [da] República Federativa**, Brasília, DF, 31 jul. 2007. Seção 1, p. 11.

CANQUI, H. B.; LAL, R. Crop residue management and soil carbon dynamics. In: LAL, R.; FOLLET, R. F. (Ed.). **Soil carbon sequestration and the greenhouse effect**. 2. ed. Washington: Soil Science Society of America, 2009. p. 291-309.

DENEF, K.; STEWART, C.E.; BRENNER, J.; PAUSTIAN, K. Does long-term center pivot irrigation increase soil carbon stocks in semi-arid agro-ecosystems. **Geoderma**, v. 145, n. 1, p. 121-129, 2008.

FANG, S.; XUE, J.; TANG, L. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. **Journal of Environmental Management**, v. 85, n. 3, p. 672-679, 2007.

FOLLET, R. F. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil & Tillage Research**, v. 61, n. 1-2, p. 77-92, 2001.

GONDIM, R. S.; CRISÓSTOMO, L. A.; MAIA, A. de H. N.; FIGUEIREDO, M. C. B. de; TANIGUCHI, C. A. K.; DUARTE, M. S.; GONDIM, T. de A. **Monitoramento do estoque de Carbono no Solo com Aplicação de Resíduos da Bananeira**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012. 20 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 70).

MEYER-AURICH, A.; WEERSINK, A.; JANOVICEK, K.; DEEN, B. Cost efficient rotation and tillage options to sequester carbon and mitigate GHG emissions from agriculture in Eastern Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 117, n. 2-3, p. 119-127, 2006.

MORGAN, J. A.; FOLLET, R. F.; ALLEN JR., L. H.; GROSSO, S. del G.; DERNER, J. D.; DIJKSTRA, F.; FRANZLUEBBERS, A.; FRY, R.; PAUSTIAN, K.; SCHOENEBERGER, M. M. Carbon sequestration in agricultural lands of the United States. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 65, n. 1, p. 6-13, 2010.

RONQUIM, C. C. **Dinâmica espaço temporal do carbono aprisionado na fitomassa dos agroecossistemas do Nordeste do Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2007. 51 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 63).

SILVA, F. C.; ABREU, M. F.; PÉREZ, D. V.; EIRA, P. A.; ABREU, C. A.; RAIJ, B. van; GIANELLO, C.; COELHO, A. M.; QUAGGIO, J. A.; TEDESCO, M. J.; SILVA, C. A.; CANTARELLA, H.; BARRETO, W. O. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. p. 107-189.

SMITH, P.; LANIGAN, G.; KUTSCH, W. L.; BUCHMANN, N.; EUGSTER, W.; AUBINET, M.; CESCHIA, E.; BEZIAT, P.; YELURIPATI, J. B.; OSBORNE, B.; MOORS, E. J.; BRUT, A.; WATTENBACH, M.; SAUNDERS, M.; JONES, M. Measurements necessary for assessing the net ecosystem carbon budget of croplands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 139, n. 3, p. 302-315, 2010.

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

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.

Embrapa

Agroindústria Tropical

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PÁTRIA EDUCADORA