

Sequestro de carbono em sistemas de produção de soja, milho e algodão em solo arenoso do Cerrado da Bahia



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

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
34**

Sequestro de carbono em sistemas de
produção de soja, milho e algodão em
solo arenoso do Cerrado da Bahia

*Julio Cesar Bogiani
Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira
Ana Luiza Dias Coelho Borin
Valdinei Sofiatti
Fabiano José Perina*

**Embrapa Territorial
Campinas, SP
2020**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Territorial
Av. Soldado Passarinho, nº 303
Fazenda Chapadão
13070-115, Campinas, SP
Fone: (19) 3211.6200
www.embrapa.br/territorial
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Territorial

Presidente
Luciola Alves Magalhães

Secretário-executivo
André Luiz dos Santos Furtado

Membros
Bibiana Teixeira de Almeida, Carlos Alberto de Carvalho, Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues, José Dilcio Rocha, Suzi Carneiro, Vera Viana dos Santos Brandão, Ângelo Mansur Mendes, Carlos Fernando Quartaroli, Marcelo Fernando Fonseca e Paulo Augusto Vianna Barroso

Supervisão editorial
Suzi Carneiro e Bibiana Teixeira de Almeida

Revisão de texto
Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica
Vera Viana dos Santos Brandão

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e tratamento das ilustrações
Suzi Carneiro

Ilustração da capa
Suzi Carneiro, com imagens de Banco Multimídia Embrapa (BME)

1ª edição
1ª impressão (2020): versão on-line

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 Territorial

Sequestro de carbono em sistemas de produção de grãos e fibras em solo arenoso do Cerrado da Bahia / Julio Cesar Bogiani... [et al.]. - Campinas: Embrapa Territorial, 2020..

29 p.: il. ; (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Territorial, ISSN 1806-3322; 34).

1. Algodão. 2. Cobertura do solo. 3. Gases de efeito estufa. 4. Milho. 5. Rotação de culturas. 6. Soja. I. Bogiani, Julio Cesar. II. Ferreira, Alexandre Cunha de Barcellos. III. Borin, Ana Luíza Dias Coelho. IV. Sofiatti, Valdinei. V. Perina, Fabiano José. VI. Título. VII. Série.

CDD 631.43

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	14
Conclusões.....	26
Referências	27

Sequestro de carbono em sistemas de produção de grãos e fibras em solo arenoso do Cerrado da Bahia

Julio Cesar Bogiani¹

Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira²

Ana Luíza Dias Coelho Borin³

Valdinei Sofiatti⁴

Fabiano José Perina⁵

Resumo – Os solos agrícolas, além de sustentarem a produção de grãos e algodão, são potenciais acumuladores de carbono. Entretanto, cada solo responde de forma diferenciada à produção a aos serviços ambientais, conforme o tipo de solo, ambiente, manejo e plantas cultivadas. Neste estudo, foi avaliada a quantidade de carbono sequestrada por sistemas de produção, considerando a quantidade contida no solo, na biomassa de cobertura e nos produtos colhidos. O desenho experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e com os tratamentos: preparo convencional do solo (PC) e monocultivo de soja (T1), milho (T2) ou algodão (T3); sistema plantio direto (SPD) com rotação de soja e milho + braquiária (T4); milho + braquiária, algodão e soja + crotalária na sucessão (T5); soja + sorgo na sucessão e algodão (T6); e Cerrado nativo (T7). O estoque de carbono no solo até 0–40 cm, na média dos tratamentos sob SPD foi 28% superior ao obtido no PC, e 33% superior ao Cerrado nativo. O SPD aumentou o carbono no solo a uma taxa média anual de 3,47 Mg ha⁻¹. Considerada a soma do carbono contido no solo, na biomassa de cobertura ao fim de seis anos e na produção colhida neste período, todos os tratamentos sob SPD sequestraram mais carbono, com média 31% superior em relação ao PC. Conclui-se que o

¹ Julio Cesar Bogiani, agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas, SP

² Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira, agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB

³ Ana Luíza Dias Coelho Borin, agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB

⁴ Valdinei Sofiatti, agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB

⁵ Fabiano José Perina, Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, analista da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB

SPD, em solo arenoso no Extremo Oeste Baiano, além de garantir maiores produtividades de algodão, milho e soja, é mais eficiente que o PC em sequestrar o C atmosférico.

Termos para indexação: algodão, cobertura do solo, gases de efeito estufa, milho, rotação de culturas, soja.

Carbon sequestration in grain and fiber production systems on a Cerrado sandy soil in Bahia

Abstract – Agricultural soils, in addition to supporting grain and cotton production, are potential carbon accumulators. However, each soil responds differently to production/environmental services depending on type of soil, environment, management, and cultivated plants. In this study, the amount of carbon sequestered by production systems was evaluated considering the amount contained in soil, cover biomass and harvested products. The experimental design was in random blocks, with four replicates and the treatments: conventional soil tillage (PC) and soybean monoculture (T1), corn (T2), or cotton (T3); no-tillage (SPD) with rotation of soybean and corn + palisade grass (T4); rotation of corn + palisade grass, with cotton and soy + crotalaria in succession (T5); rotation of cotton and soybean + sorghum in succession (T6); and native Cerrado (T7). The carbon stock in the 0–40 cm soil layer was 28% higher on average for treatments under SPD than under PD, and 33% higher than under native Cerrado. SPD increased the carbon in the soil at an average annual rate of 3.47 Mg ha⁻¹. Considering the amount of carbon contained in the soil and cover biomass after six years, and in all the products harvested during this period, all treatments under SPD sequestered more carbon, on average 31% more, than under PC. The use of SPD, in sandy soils at Western Bahia, in addition to ensuring higher yields of cotton, corn and soybeans, is more efficient than PC in sequestering atmospheric carbon..

Index terms: Cotton, soil cover, greenhouse gases, maize, crop rotation, soybean.

Introdução

O bioma Cerrado é atualmente a região do Brasil onde encontram-se as maiores extensões de lavouras de soja, milho e algodão (Conab, 2020). Particularmente na porção do Cerrado no Extremo Oeste Baiano, uma região agrícola de grande importância nacional, os solos são, na sua maioria, de textura arenosa, constituídos principalmente por Neossolos e Latossolos (Silva et al., 1994), muito suscetíveis à erosão e com baixa fertilidade natural e baixos teores de matéria orgânica (MO).

Nos sistemas de produção predominantes nessa região, ainda são comuns o preparo convencional do solo (PC), com o seu intenso revolvimento usando grades e arados, e o monocultivo de soja, milho e algodão. Essas condições favorecem a erosão (Bayer et al., 2006; Cerri et al., 2007; Corbeels et al., 2016), acarretam reduções do teor de MO (Ogle et al., 2012; Scopel et al., 2013; Piccoli et al., 2016), da qualidade do solo (Silva et al., 1994; Scopel et al., 2013; Carvalho et al., 2014), do seu potencial de produção (Ferreira et al., 2020) e, por consequência, da capacidade de acumular carbono (C) no solo.

O sistema plantio direto (SPD), método de cultivo conservacionista (Steiner et al., 2011) – que consiste no mínimo revolvimento do solo, limitado apenas à linha de semeadura; no uso de plantas de cobertura, para aumentar a quantidade de biomassa sobre o solo, para proteção e condicionamento; e na rotação de culturas (Garcia et al., 2013; Carvalho et al., 2014) –, consolida-se como uma tecnologia eficaz para a redução das perdas de C do solo (Bayer et al., 2000) e para o aumento de seu estoque nas áreas agrícolas. São vários os trabalhos que comprovam esses benefícios (Bayer et al., 2006; Carvalho et al., 2014; Sá et al., 2015), porém, alguns divergem quanto ao potencial do SPD para aumentar o estoque de C (Corbeels et al., 2016; Minasny et al., 2017; Sant-Anna et al., 2017; Ferreira et al., 2020), uma vez que os benefícios dependem da produção de biomassa das culturas (Raphael et al., 2016), do aporte de C, das condições ambientais (Ogle et al., 2012; Piccoli et al., 2016), e da textura do solo (Piccoli et al., 2016).

Por esses motivos, ocorrem discussões sobre o potencial dos solos agrícolas do Cerrado quanto à sua capacidade de sequestro de C como estratégia de mitigação de gases de efeito estufa na agricultura, sobretudo nos solos de textura arenosa cultivados com algodão, mas essas informações

são escassas. Adicionalmente, existe a possibilidade, às vezes questionável, de que o potencial de uma área agrícola para sequestrar C da atmosfera pode ir além do que é fixado no solo, pois parte da produção de fibras e alimentos é composta pelo C que foi sequestrado da atmosfera e exportado via colheita. Apesar de parte do C acumulado nos produtos colhidos retornar à atmosfera – e isso não decorre da atividade agrícola, mas sim da atividade humana, por meio do consumo dos alimentos –, o C presente na fibra de algodão permanece fixado nos produtos confeccionados usando essa fibrosa. E tecidos produzidos a partir da fibra de algodão podem durar muitos anos, conforme a destinação do seu uso (Pezzolo, 2019).

Com o propósito de embasar essas discussões, este estudo mensurou a capacidade de sequestro de C em diferentes sistemas de produção de soja, milho e algodão, considerando o C acumulado no solo, na biomassa de cobertura e na produção de grãos e fibra, em um solo arenoso de Cerrado de uma importante região agrícola do Brasil.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido entre setembro de 2012 e agosto de 2017, em condições de sequeiro, na área experimental da Fundação Bahia, no município de Luís Eduardo Magalhães, Bahia (12°05'36"S, 45°42'38"W, 753 m de altitude).

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico (Santos et al., 2013) e como Arenosol (Quartzipsamments) (Estados Unidos, 2014). A classificação climática é Aw, de acordo com Köppen-Geiger, com média anual de precipitação de 1.100 mm (Diniz et al., 2018), concentrada de novembro a abril.

Antes da instalação do experimento, no início de setembro de 2012, foi feita a caracterização da área, com amostragem do solo na profundidade de 0–20 cm e 21–40 cm, para análise química e granulométrica (Tabela 1).

No fim de setembro de 2012, antes da semeadura das culturas, toda a área experimental recebeu o equivalente a 2.000 kg ha⁻¹ de calcário calcítico, com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 90%, e 700 kg ha⁻¹ de gesso agrícola, e foi submetida a subsolagem, na profundidade de trabalho de 35 cm, seguida de uma aração e uma gradagem. Após essas operações, foram aplicados 400 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e foi feita mais uma gradagem, para nivelamento. Cada parcela experimental foi dimensionada em 400 m² (20 x 20 m).

O experimento consistiu de sete tratamentos (Tabela 2) compostos de sistemas de manejo do solo, rotação e sucessão de culturas (algodão, soja e milho) e do Cerrado nativo em área adjacente, a 100 m do experimento. Para as análises de C no solo, foram considerados os sete tratamentos, porém, para as análises de C na biomassa e na produção de grão e fibras, foram considerados apenas os seis primeiros tratamentos (Tabela 2). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições.

Nos tratamentos com PC, o manejo do solo foi feito anualmente entre o fim de setembro e o início de outubro, após o início das chuvas. Os preparos consistiram de uma operação com grade aradora a 20 cm de profundidade, seguida de uma grade niveladora, e foi feita mais uma operação com grade niveladora de um a dois dias antes da semeadura da soja, do milho ou do algodão. No terceiro ano de cultivo também foi efetivada uma operação de subsolagem na profundidade de trabalho de 35 cm.

Ao longo dos seis anos, a soja e o milho foram semeados em novembro, após o normal estabelecimento das chuvas, com espaçamento entre linhas de 50 cm. O algodão foi semeado do fim de novembro até meados de dezembro, com espaçamento entre linhas de 76 cm.

As populações de plantas por hectare variaram de 200.000 a 280.000, 55.000 a 65.000 e 100.000 a 130.000 para soja, milho e algodão, respectivamente, dependendo da cultivar usada em cada safra. Em cada ano de cultivo, independentemente do tratamento avaliado, foram usadas as mesmas cultivares, populações de plantas, adubações e os mesmos espaçamentos entre linhas.

Tabela 1. Resultados da análise de solo nas camadas de 0–20 cm e 21–40 cm de profundidade, antes da instalação do experimento.

Prof.	pH ¹	P ²	K ³	Ca ⁴	Mg ⁵	H+Al ⁶	SB ⁷	CTC ⁸	V ⁹	MO ¹⁰	Argila	Silte	Areia	ds ¹¹
cm	água	mg dm ⁻³	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	%	g kg ⁻¹	-----	g kg ⁻¹	-----	kg dm ⁻³
0–20	6,18	1,4	0,30	3,9	4,6	15,1	8,8	23,9	36,8	4,51	150	75	775	1,75
21–40	6,08	1,8	0,36	4,5	4,3	15,1	9,2	24,3	37,9	4,20	162	87	771	1,74

¹ pH em água na relação solo: água 1:2,5; ² fósforo disponível e ³ potássio trocável, extraídos por Mehlich-1, relação 1:10; ⁴ cálcio e ⁵ magnésio, extraído por KCl 1 mol L⁻¹; ⁶ acidez potencial, extraído por acetato de cálcio, 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0; ⁷ soma de bases trocáveis = Ca + Mg + K; ⁸ capacidade de troca de cátions = H + Al + SB; ⁹ volume de saturação por bases trocáveis = SB/CTCx100, ¹⁰ matéria orgânica do solo (por Walkley-Black); ¹¹ densidade do solo pelo método do anel volumétrico.

Fonte: Teixeira, 2017.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos com os sistemas de manejo do solo, de rotação e sucessão de culturas.

Tratamentos	Anos/safras de cultivo						
	2012–2013	2013–2014	2014–2015	2015–2016	2016–2017	2017–2018	
PCMS ⁽¹⁾	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja
PCMM ⁽¹⁾	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho	Milho
PCMA ⁽¹⁾	Algodão	Algodão	Algodão	Algodão	Algodão	Algodão	Algodão
SPDSM ⁽²⁾	Soja	Milho + braquiária ⁽⁶⁾	Soja	Milho braquiária ⁽⁶⁾	+ Soja	Milho braquiária ⁽⁶⁾	+ Milho braquiária ⁽⁶⁾
SPDSMA ⁽³⁾	Soja / crotalária ⁽⁶⁾	Milho + braquiária ⁽⁶⁾	Algodão	Soja crotalária ⁽⁶⁾	/ Milho braquiária ⁽⁶⁾	+ Algodão	
	Milho +braquiária ⁽⁶⁾	Algodão	Soja / crotalária ⁽⁶⁾	Milho + braquiária ⁽⁶⁾	Algodão	Soja crotalária ⁽⁶⁾	/
	Algodão	Soja / crotalária ⁽⁶⁾	Milho + braquiária ⁽⁶⁾	Algodão	Soja crotalária ⁽⁶⁾	/ Milho braquiária ⁽⁶⁾	+ Milho braquiária ⁽⁶⁾
SPDSA ⁽⁴⁾	Soja / sorgo ⁽⁷⁾	Algodão	Soja / sorgo ⁽⁷⁾	Algodão	Soja / sorgo ⁽⁷⁾	Algodão	
Cerrado							

⁽¹⁾PCMS, PCMM e PCMA – preparo convencional do solo e monocultivo de soja, milho e algodão, respectivamente; ⁽²⁾SPDSM – sistema plantio direto com soja em rotação com milho; ⁽³⁾SPDSMA – sistema plantio direto com soja em rotação com milho e com algodão; ⁽⁴⁾SPDSA – sistema plantio direto com soja safra e sorgo em segunda safra, em rotação com algodão; ⁽⁶⁾*Urochloa ruziziensis* cultivada em consórcio com milho; ⁽⁶⁾*Crotalaria ochroleuca* semeada em sucessão à soja; ⁽⁷⁾*Sorghum bicolor* semeado em sucessão à soja.

Em todos os anos, a adubação da soja foi feita com aplicação, na linha de semeadura, de 350 kg ha⁻¹ da mistura 2-25-16 (N-P₂O₅-K₂O) + 13% Ca + 8% S + 0,1% B + 0,07% Cu + 0,2% Mn + 0,15% Zn e uma cobertura com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de 0-0-60 (N-P₂O₅-K₂O). Para milho e algodão foram aplicados, na linha de semeadura, 400 kg ha⁻¹ da mistura 5-34-16 (N-P₂O₅-K₂O) + 8% Ca + 5% S + 0,1% B + 0,07% Cu + 0,2% Mn + 0,15% Zn, e as adubações em cobertura foram: milho (duas aplicações com 200 kg ha⁻¹ de 45-0-25 de N-P₂O₅-K₂O); algodão (duas aplicações com 170 kg ha⁻¹ de 45-0-15 de N-P₂O₅-K₂O).

Nos tratamentos sob SPD com cultivo de milho em consórcio com braquiária, as sementes de braquiária (*Urochloa ruziziensis*), equivalentes a 6 kg ha⁻¹ e com valor cultural (VC) de 100%, foram aplicadas a lanço momentos antes da semeadura do milho. Durante o cultivo do milho, com a *U. ruziziensis* em início de perfilhamento, foi aplicada uma subdose do herbicida gramínida nicosulfuron, correspondente a 6 g ha⁻¹ do ingrediente ativo (i.a.), visando reduzir a competição entre as culturas de modo a não controlar totalmente a forrageira. Depois da colheita do milho, a *U. ruziziensis* foi cultivada isoladamente, e dessecada usando glifosato (1.400 g ha⁻¹ do i.a.) em julho de cada ano e aos 15 dias antes da semeadura (DAS) direta de algodão. A *U. ruziziensis* que antecedeu a soja também foi dessecada usando a mesma dose de glifosato, em julho de cada ano e aos 15 DAS direta da soja.

Após a colheita da soja cultivada em SPD, foram semeados *Crotalaria ochroleuca* (6 kg ha⁻¹ de sementes com VC de 100%) e *Sorghum bicolor* (12 kg ha⁻¹ de sementes com VC de 100%), conforme descrição dos tratamentos (Tabela 2), e foi adotado o espaçamento entre linhas de 0,50 cm para ambas as espécies. O herbicida paraquat (400 g ha⁻¹ do i.a.) foi aplicado a 2 DAS dessas plantas de cobertura, visando controlar as plantas voluntárias de soja e as plantas daninhas. Em julho de cada ano e aos 15 DAS direta do algodão ou do milho, as plantas de cobertura foram dessecadas usando glifosato (1.400 g ha⁻¹ do i.a.).

As colheitas de soja, milho, sorgo e algodão foram feitas em três pontos aleatórios no centro da parcela, cada um composto de quatro linhas com 5 m de comprimento. Os dados dos três pontos foram somados e os resultados de produtividade, transformados para kg ha⁻¹. Em amostras de grãos e

fibras retiradas para os cálculos de produtividade, foi determinado o teor de C, conforme descrito por Carmo e Silva (2012). A partir do teor de C e da produtividade de cada cultura, foi calculada a quantidade de C acumulado nos grãos e fibras.

Nos seis anos do experimento, foram coletadas amostras de biomassa dos restos culturais após a colheita de soja, milho e algodão, bem como da biomassa formada pelas plantas de cobertura cultivadas em sucessão à soja (crotalária e sorgo) e em consórcio com o milho (braquiária). Após a secagem e pesagem das amostras, foram determinados os teores de C (Tedesco et al., 1995). A partir do teor de C e da quantidade de biomassa formada, foi calculada a quantidade de carbono, em Mg ha^{-1} , acumulado na biomassa residual de cada tratamento.

Foram coletadas, nas profundidades de 0–10 cm, 11–20 cm e 21–40 cm, amostras indeformadas de solo, para cálculo da densidade, e, em agosto de 2018, amostras deformadas de solo nas mesmas profundidades foram retiradas, para avaliação do teor de C. Este foi determinado via combustão a seco em analisador elementar de C (Perkin Elmer Elemental Analyzer 2400 Series II), de acordo com o método Pregl-Dumas (Nelson; Sommers, 1996).

Com base nos resultados de densidade do solo e teor de C, foi calculado o estoque de C, em Mg ha^{-1} (Blake; Hartge, 1986), por meio da fórmula: teor de C (g kg^{-1}) x densidade do solo (kg dm^{-3}) x espessura da camada do solo (m) x 10. A estimativa do estoque de C no solo no início do experimento foi feita com base no teor de matéria orgânica (g kg^{-1}) das camadas de 0–20 cm e 21–40 cm da amostra inicial (Tabela 1), dividido pelo fator invertido de van Bemmelen e multiplicado pela densidade do solo, pela profundidade (em metros) e pelo fator 10.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Resultados e Discussão

O teor de C no solo foi significativamente influenciado pelos diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (Tabela 3). Nas três profundidades avaliadas, os valores foram maiores nos tratamentos sob SPD, quando

comparados aos determinados no solo de Cerrado nativo e nos tratamentos com PC e monocultivo, independentemente da cultura. Entretanto, os teores de C no solo de Cerrado nativo não diferiram daqueles obtidos no solo sob PC e monocultivo de soja, de milho ou de algodão, indicando que o fato de não haver aumento do teor de C, em seis anos de monocultivo sob PC, evidencia a dificuldade desses sistemas de produção em elevar o teor de C no solo. É importante ressaltar que, na região onde foi executado este estudo, as características naturais dos solos são: textura arenosa, baixos níveis de fertilidade e de MO, além de um cerrado “ralo” (Mendes et al., 2012), composto de árvores baixas e pouco frondosas, com troncos e ramos inclinados, tortuosos e retorcidos.

Tabela 3. Teor (g kg^{-1}) e estoque (Mg ha^{-1}) de carbono no solo após seis anos de cultivos sob sistemas de manejo do solo, de rotação e sucessão de culturas.

Tratamentos	Profundidade (cm)						
	Teor de C			Estoque de C			
	0–10	11–20	21–40	0–10	11–20	21–40	0–40
PCMS ¹	4,8 b	4,4 b	4,0 b	8,5 b	7,7 b	14,3 b	30,5 c
PCMM ²	5,2 b	4,3 b	4,1 b	9,1 b	7,4 b	14,2 b	30,7 c
PCMA ³	5,2 b	4,1 b	3,9 b	9,1 b	7,0 b	13,5 b	29,6 c
SPDSM ⁴	6,5 a	5,4 a	4,8 a	11,4 a	9,3 a	16,8 a	37,5 a
SPDSMA ⁵	6,9 a	5,5 a	4,7 a	12,3 a	9,7 a	16,8 a	38,8 a
SPDSA ⁶	6,6 a	5,9 a	5,2 a	11,8 a	10,3 a	17,9 a	40,0 a
Cerrado	4,8 b	4,7 b	3,7 b	8,1 b	8,1 b	12,7 c	28,9 c
Média PC ^(A)	5,1	4,3	4,0	8,9	7,4	14,0	30,3
Média SPD ^(B)	6,7	5,6	4,9	11,8	9,8	17,2	38,8
CV	8,1	7,3	5,2	4,7	4,2	3,4	2,6

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). ¹, ² e ³Preparo convencional e monocultivo de soja, milho e algodão, respectivamente; ⁴Sistema plantio direto com rotação [soja (safra)/milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)]; ⁵Sistema plantio direto com rotação [soja (safra) + *C. spectabilis* (safrinha)/ milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)/algodão (safra)]; ⁶Sistema plantio direto com rotação [soja (safra) + *S. bicolor* (safrinha)/algodão (safra)]. ^(A)Média de ¹, ² e ³; ^(B)Média de ⁴, ⁵ e ⁶.

Adicionalmente, apesar de não terem sido analisados estatisticamente, os números relativos mostraram maiores teores de C nas camadas mais

superficiais, e esta resposta é muito mais evidente nos tratamentos sob SPD. Nesse sistema, o acúmulo de biomassa produzida ao longo dos seis anos do experimento foi maior quando comparado aos tratamentos sob PC (Tabela 4), pois, além da biomassa deixada pelas culturas principais após as colheitas, também há aquela formada pelas plantas de cobertura utilizadas nos tratamentos com sistema de produção baseado no SPD. Garcia et al. (2013) pesquisaram a formação de biomassa radicular em gramíneas utilizadas como plantas de cobertura em SPD e observaram que os maiores incrementos ocorreram na camada de 0–10 cm de profundidade, com potencial de até 0,4 vez a quantidade de biomassa seca produzida pela parte aérea, o que também explica os benefícios evidenciados pelos sistemas de produção mais diversificados.

Em consonância com o exposto, além da maior formação de biomassa nos tratamentos sob SPD, o não revolvimento do solo neste sistema diminui as perdas de MO e favorece o aumento do acúmulo de C no solo (Scopel et al., 2013; Carvalho et al., 2014). Perdas de MO em um solo franco-argilo-arenoso com 31% de argila foram estimadas por Bayer et al. (2000), que relataram reduções da ordem de 46% nas taxas de perdas anuais nas áreas de SPD em comparação às de PC. Esses autores explicaram que o resultado decorreu de uma soma de fatores, como a diminuição do fracionamento e a não incorporação dos resíduos vegetais ao solo, a menor disponibilidade de oxigênio, as menores temperaturas e a maior proteção física da matéria orgânica nos agregados do solo. A baixa eficiência do PC quanto à fixação de C no solo também ficou evidente no presente trabalho. Nos três tratamentos sob sistema não conservacionista, nos quais houve maior favorecimento de perda do C pelo revolvimento anual do solo, o teor de C no solo não aumentou (Tabela 3), mesmo no monocultivo de milho, o que resultou em maior quantidade de biomassa e de C nessa biomassa que nos outros monocultivos (Tabela 4).

As perdas de MO são maiores em solos arenosos, pois, de acordo com Piccoli et al. (2016), o C orgânico apresenta correlação negativa com o teor de areia do solo. Silva et al. (1994) estimaram, em estudo feito em áreas sob PC no Cerrado do Extremo Oeste Baiano, perdas anuais de 24% em um Latossolo Vermelho-Escuro com mais de 30% de argila, enquanto em Latossolos Vermelho-Amarelos com 15–30% de argila, assim como naqueles com menos que 15% de argila, as perdas foram de 30% e 32%,

Tabela 4. Quantidade acumulada (Mg ha^{-1}) de biomassa seca (cultivos principais e plantas de cobertura) nos seis anos de condução do experimento, de biomassa seca presente sobre o solo ao fim do quinto ano de cultivo, e do carbono presente nestas biomassas coletadas nos sistemas de manejo do solo, de rotação e sucessão de culturas.

Tratamentos	Acumulado em 6 anos do experimento		Sobre o solo ao fim do 6° ano de cultivo ^(A)	
	Biomassa seca	C da biomassa	Biomassa seca	C da biomassa
PCMS ¹	18,5 d	8,7 e	–	–
PCMM ²	25,4 c	12,1 d	–	–
PCMA ³	19,6 d	9,6 e	–	–
SPDSM ⁴	49,0 a	21,3 b	9,9 a	4,8 a
SPDSMA ⁵	49,6 a	23,8 a	9,8 a	4,8 a
SPDSA ⁶	34,1 b	16,8 c	3,5 b	1,7 b
Média PC ^(B)	21,2	10,1	–	–
Média SPD ^(C)	44,3	20,6	7,8	3,8
CV	3,1	3,37	4,4	5,3

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). ¹, ² e ³Preparo convencional e monocultivo de soja, milho e algodão, respectivamente; ⁴Sistema plantio direto com rotação [soja (safra)/milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)]; ⁵Sistema plantio direto com rotação [soja (safra) + *C. spectabilis* (safrinha)/ milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)/algodão (safra)]; ⁶Sistema plantio direto com rotação [soja (safra) + *S. bicolor* (safrinha)/algodão (safra)]. ^(A)Solo de ¹, ² e ³ foi revolvido; ^(B)Média de ¹, ² e ³; ^(C)Média de ⁴, ⁵ e ⁶.

respectivamente. Relataram, ainda, que houve redução da capacidade de troca de cátions (CTC), decorrente das perdas de MO, com maior amplitude de queda, correspondente a 61% nos Latossolos Vermelho-Amarelos com menos de 15% de argila. E explicaram que a contribuição da fração mineral na CTC total é muito baixa nesses solos e, portanto a CTC, quase em sua totalidade, é atribuída à geração de cargas na superfície dos minerais e dos componentes orgânicos. Segundo Sousa e Lobato (2004), o acúmulo de restos vegetais provenientes de culturas de importância econômica ou de plantas de cobertura tende a aumentar, com o tempo, a MO do solo sob SPD, a qual é responsável por 88% da CTC dos solos tropicais do Cerrado.

Com base em um estudo de rotação de culturas que integrou plantas de cobertura no inverno, Raphael et al. (2016) observaram pouca influência

destas sobre a MO do solo e na qualidade dos solos tropicais de regiões com invernos secos, e justificaram que esse tipo de trabalho necessita de longos períodos de experimentação para que os efeitos sobre o C no solo sejam detectados. No presente estudo, os seis anos sob cultivo sustentado no SPD, em um ambiente de inverno seco, possibilitaram a melhoria da qualidade química do solo arenoso, comprovada por meio do incremento do teor de C do solo.

Nas três profundidades de solo avaliadas, a quantidade de C estocada foi maior nos tratamentos sob SPD com rotação e sucessão de culturas quando comparada aos demais tratamentos (Tabela 3), e seguiu uma resposta muito semelhante à observada para teores de C. Essa semelhança pode ser atribuída ao fato de os valores de densidade do solo entre os tratamentos avaliados terem sido muito próximos (Figura 1).

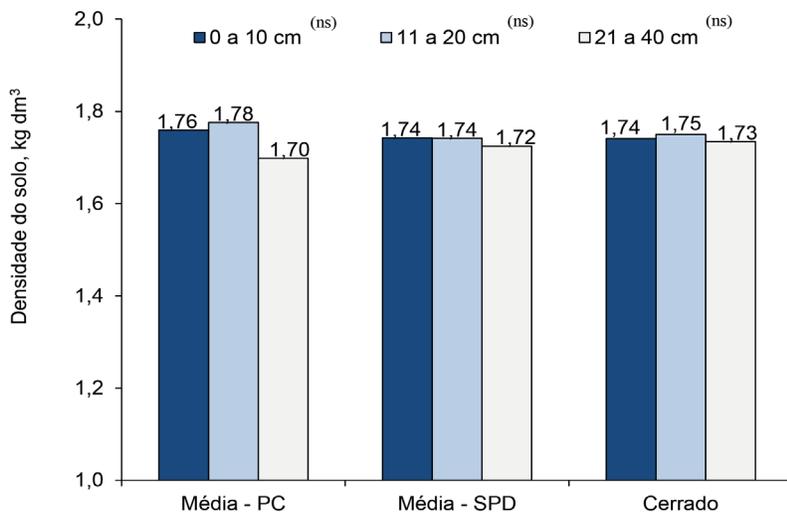


Figura 1. Densidade do solo em três profundidades nos diferentes sistemas de manejo do solo, de rotação e sucessão de culturas. (ns) Não significativo pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). PC = preparo convencional do solo. SPD = sistema plantio direto.

Os valores absolutos da quantidade de C estocado foram maiores, quanto mais superficiais foram as camadas de solo avaliadas. Isso pode ser explicado pelo fato de essas camadas corresponderem ao local de maior deposição dos restos culturais das culturas comerciais e das plantas de cobertura, com

maior evidência nos tratamentos sob SPD, nos quais não houve revolvimento do solo e a intensidade de cultivos vegetais para formação de biomassa foi maior, conforme discutido anteriormente para os teores de C. Nos primeiros 10 cm de profundidade, correspondentes à camada com maior acúmulo de C no solo, a média obtida entre os tratamentos sob SPD foi 33% maior que nos tratamentos sob PC, e 46% maior que o acumulado na área de Cerrado nativo.

Quanto ao estoque total de C no solo, considerada a camada de 0–40 cm de profundidade, as quantidades acumuladas em todos os tratamentos sob SPD foram as mais altas, mas sem diferenciação entre os distintos esquemas avaliados de rotação e sucessão das culturas (Tabela 3). Na média dos tratamentos sob SPD, o estoque de C foi 28% superior em comparação à média dos tratamentos sob PC com monocultivos e 33% superior ao Cerrado nativo. Considerados apenas os tratamentos sob SPD com algodão no esquema de rotação, o estoque de C foi 36% superior ao verificado no Cerrado nativo, o que evidencia o potencial desse sistema conservacionista de manejo e uso do solo para acumular C em um solo com 77% de areia e cerca de 15% de argila. Esse resultado é positivamente impactante, mesmo sabendo-se que o algodão apresenta baixo potencial para incremento de C no solo, em virtude de seu baixo aporte de biomassa pelos restos culturais (Ferreira; Lamas, 2010). Adicionalmente, cabe ressaltar que, na região do Extremo Oeste Baiano, não ocorrem chuvas suficientes no outono e inverno, que possibilitem o perfeito desenvolvimento e produção de biomassa pelas plantas de cobertura. Mesmo assim, a rotação de culturas, aliada ao não revolvimento do solo e à integração de plantas de cobertura com as culturas comerciais, princípios do SPD, possibilitaram que o cultivo do algodão acumulasse C no solo.

O estoque inicial de C no solo da área, estimado na época da instalação do experimento na camada 0–40 cm, foi de 17,63 Mg ha⁻¹, valor inferior ao observado no Cerrado nativo adjacente ao experimento, o que indicava ocorrência da degradação do solo (Bonini et al., 2015). Após seis anos do experimento constatou-se que os monocultivos de soja, de milho e de algodão, todos sob PC, igualaram o estoque de C ao valor encontrado no Cerrado nativo. Entretanto, não foram suficientes para aumentá-lo e gerar um saldo positivo, como constatado nos solos sob SPD, onde foram produzidas as mesmas culturas em esquemas de rotação e sucessão, integradas ao

uso de plantas de cobertura de alto aporte de C, como *U. ruziziensis*, que apresenta potencial elevado em reverter o processo de degradação do solo e de declínio da sua MO, conforme comprovado por Sá et al. (2015).

Por meio da diferença entre a média dos tratamentos sob SPD, após os seis anos do experimento, e o estoque inicial de C no solo, obtido na época da instalação, infere-se que houve aumento de 20,8 Mg ha⁻¹ no estoque de C, ou seja, a taxa anual de incremento foi de 3,47 Mg ha⁻¹. Essa taxa anual é superior às relatadas por Minasny et al. (2017), compreendidas entre 0,2 e 0,6 Mg ha⁻¹, bem como à de 1,2 Mg ha⁻¹ obtida por Ferreira et al. (2020) em solo argiloso do Cerrado em Goiás, após nove anos de cultivo de algodoeiro em SPD. Em um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado, Corbeels et al. (2016) obtiveram taxas anuais de acúmulo de C entre -0,32 e 1,46 Mg ha⁻¹, em solo sob SPD e sistema de produção com rotação de soja e milho.

O cultivo em SPD, sistema conservacionista de produção, indica ser, por meio dos resultados deste trabalho, uma eficiente estratégia de sequestro do C da atmosfera. Entretanto, a sua contribuição total não se restringe ao aumento do estoque desse elemento no solo, e abrange também o C contido em todo o material vegetal sobre o solo e que ainda não foi decomposto, e todos os alimentos e fibras produzidos e colhidos.

Toda a biomassa que protege a superfície do solo, seja ela proveniente dos restos vegetais das culturas principais ou das plantas de cobertura, tem também C em sua composição. A biomassa em contato com o solo está constantemente em processo natural de decomposição, e a sua renovação periódica também é um processo contínuo e necessário, pois a adequada e permanente cobertura do solo por biomassa vegetal ao longo dos anos é um dos requisitos básicos para garantir o sucesso e a eficiência do SPD (Ferreira; Lamas, 2010). Esses resíduos também são importantes para a atividade microbiana do solo, uma vez que o C pode aumentar nesse compartimento biológico do solo. Além da biomassa sobre o solo, há também aquela formada pelas raízes de todas as plantas cultivadas (Garcia et al., 2013; Corbeels et al., 2016). No momento das amostragens de solo, ao fim dos seis anos do experimento, foi mensurada a biomassa de cobertura que havia apenas nas áreas sob SPD, pois nas áreas sob PC todo o material foi incorporado durante as operações de preparo do solo. Nos tratamentos de milho consorciado com braquiária foram obtidas as maiores quantidades de

biomassa sobre o solo (Tabela 4), o que reforça a importância dessas culturas no esquema de rotação quanto ao papel de continuamente manter o solo coberto e protegido (Ferreira; Lamas, 2010; Sá et al., 2015). A quantidade de C acumulado sobre a superfície do solo foi proporcional à quantidade de biomassa acumulada e, por isso, os maiores valores foram observados nos tratamentos que tiveram milho consorciado com *U. ruziziensis* (Tabela 4), que deixaram maior quantidade de material vegetal residual como cobertura do solo. No SPD, a biomassa formada pode aumentar o teor de MO do solo e contribuir para melhorar a retenção de água e de cátions (Steiner et al., 2011).

A cobertura do solo o protege contra a compactação superficial proveniente do impacto direto das gotas de água, diminui a erosão por reduzir o transporte de partículas minerais e orgânicas pela enxurrada (Scopel et al., 2013) e diminui a incidência de plantas daninhas. As plantas de cobertura também reciclam nutrientes do solo, suas raízes proporcionam a formação de bioporos no solo e melhorias nas suas características físicas, facilitando a infiltração de água (Garcia et al., 2013). Esse conjunto de benefícios resulta na conservação do solo e da água e na manutenção ou no incremento da capacidade produtiva dos solos (Bayer et al., 2006; Cerri et al., 2007), fato observado no presente estudo, pois a média de produtividade nos seis anos de cultivo sob SPD foi maior que a obtida sob PC (Tabela 5).

A produtividade média de fibra de algodão nos tratamentos sob SPD foi em média 21,1% superior que no monocultivo desta fibrosa sob PC (Tabela 5). A quantidade de caroços de algodão também foi 15,1% superior nos tratamentos sob SPD em relação ao PC. A partir dessas informações é possível inferir também que, na média de seis anos, os algodoeiros cultivados em SPD foram mais eficientes em relação ao rendimento de fibra que os algodoeiros em monocultivo sob PC.

Na soja, a superioridade produtiva dos cultivos sob SPD chegou a ser de 15,2% no tratamento SPDSMA. Entretanto, na média dos tratamentos sob SPD, essa superioridade foi de 10,7% (Tabela 5).

No milho, apenas o tratamento SPDSMA apresentou maior produtividade média em relação ao monocultivo de milho em PC, com incremento de 25,9%. O maior potencial do SPD para produzir alimentos e fibra em um mesmo espaço de solo, em comparação ao PC, apresentado no presente trabalho, também é relatado em outras pesquisas

Tabela 5. Produtividade (Mg ha^{-1}) média anual das culturas e total de carbono (Mg ha^{-1}) sequestrado nos grãos e fibras produzidos durante os seis anos de cultivo nos sistemas de manejo do solo, de rotação e sucessão de culturas.

Tratamento	Produtividade média ^(A)												TOTAL
	Algodão						Algodão						
	Soja	Milho	Sorgo	Fibra	Caroço	Soja	Milho	Sorgo	Fibra	Caroço			
PCMS ¹	3.165 b	-	-	-	-	8,6 a	-	-	-	-	-	-	8,6 f
PCMM ²	-	8.168 b	-	-	-	-	23,2 a	-	-	-	-	-	23,2 b
PCMA ³	-	-	-	1.715 b	2.302 c	-	-	-	-	4,9 a	6,4 a	-	11,3 e
SPDSM ⁴	3.440 a	8.787 b	-	-	-	4,7 b	12,5 c	-	-	-	-	-	17,2 c
SPDSMA ⁵	3.647 a	10.283 a	-	2.061 a	2.725 a	5,0 b	14,6 b	-	2,9 b	6,8 b	-	-	26,3 a
SPDSA ⁶	3.428 a	-	2.711	2.092 a	2.574 b	4,7 b	-	3,8	3,0 b	3,6 b	-	-	15,1 d
Média PC ^(B)	3.165	8.168	-	1.715	2.302	8,6	23,2	-	4,9	6,4	-	-	14,4
Média SPD ^(C)	3.505	9.535	2.711	2.077	2.650	4,8	13,6	3,8	3,0	5,2	-	-	19,5
CV	2,1	8,3	-	4,6	5,7	2,7	8,2	-	6,3	6,2	-	-	5,3

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). ¹, ² e ³Preparo convencional e monocultivo de soja, milho e algodão, respectivamente; ⁴Sistema plantio direto com rotação [soja (safra)/milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)]; ⁵Sistema plantio direto com rotação [soja (safra) + *C. spectabilis* (safrinha)/ milho (safra) + *U. ruziziensis* (safrinha)/algodão (safra)]; ⁶Sistema plantio direto com rotação [soja (safra) + *S. bicolor* (safrinha)/algodão (safra)]. ^(A)Média dos seis anos do experimento. ^(B)Soma do carbono presente em todos os grãos e fibras que foram produzidos em cada tratamento durante os seis anos do experimento.

(Ogle et al., 2012; Castelli et al., 2017; Ferreira et al., 2020), muito embora tenha sido constatado que trabalhos como esse são escassos ou ausentes para o ambiente tropical do Brasil, principalmente no que se refere ao cultivo de algodão em um solo arenoso.

Os resultados aqui apresentados reforçam os benefícios do SPD nos solos tropicais do Brasil, em prol da sustentabilidade produtiva e ambiental. E, em complemento ao exposto anteriormente quanto ao potencial de sequestro de C, todos os grãos e fibras produzidos e exportados anualmente por meio das colheitas também têm carbono na sua composição, cujas quantidades fixadas podem ser consideradas na soma do balanço total que uma área agrícola sequestra da atmosfera.

O C sequestrado da atmosfera por toda a produção de grãos e fibras nos seis anos do experimento está apresentado na Tabela 5. Analisando-se as culturas individualmente, nota-se que os valores mais altos de C acumulado nos grãos de soja, de milho e na fibra e no caroço do algodão foram observados nos tratamentos com monocultivo, ou seja, nos locais onde as culturas foram produzidas todos os anos, diferentemente dos tratamentos sob SPD, nos quais havia rotação de culturas e os cultivos eram feitos em anos alternados, conforme o esquema de rotação elaborado (Tabela 5).

Cabe observar que no SPD, em que a soja tinha como sucessão o sorgo em segunda safra, além da produção dos grãos das duas culturas, em safra e segunda safra, respectivamente, soma-se a este potencial de sequestro de C (Tabela 5) a possibilidade de formação de biomassa para cobertura do solo. Embora esta tenha sido menor (Tabela 5) em relação aos outros dois tratamentos com SPD, ao fim do trabalho ela resultou em alto estoque de carbono no solo (Tabela 3) e na elevada quantidade total acumulada no solo, na palhada e nos produtos colhidos (Figura 3).

O resultado da soma de todo o C que foi sequestrado pela produção das culturas nos seis anos do trabalho foi diferente do observado de forma isolada em cada cultivo, com forte influência do milho, independentemente do sistema adotado, pois os tratamentos nos quais havia o seu cultivo apresentaram os valores mais altos (Tabela 5). A explicação é o fato de o milho apresentar elevado potencial produtivo, por isso o seu maior potencial de sequestro do C da atmosfera pelos grãos colhidos em relação às outras culturas (Figura 2).

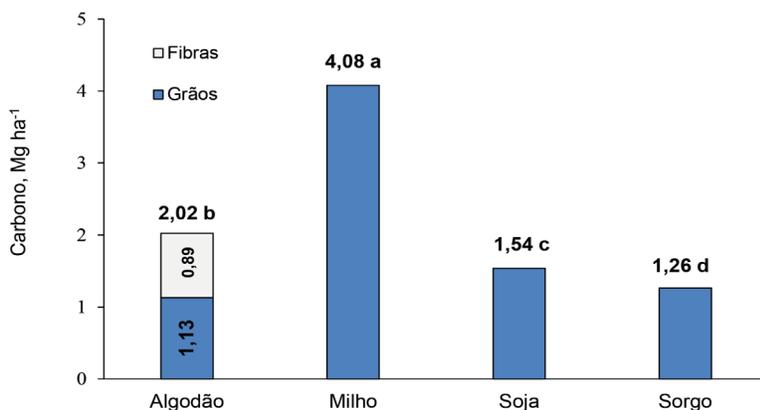


Figura 2. Quantidade de carbono fixado nos produtos colhidos em cada safra de algodão (fibra + caroço), milho, soja e sorgo (média dos seis anos). Letras diferentes indicam diferenças pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Todos os anos, em uma área agrícola produtora de grãos ou algodão, é possível a exportação de ao menos uma colheita que, como apresentado, leva consigo o C sequestrado da atmosfera, em quantidade correspondente à cultura e ao sistema de produção adotado. Nesse contexto, não é descabido afirmar que as áreas agrícolas trabalham como “bombas” que sequestram o C da atmosfera, e que ainda não se conhece com segurança os limites nos solos tropicais sob SPD no Brasil, dados o potencial produtivo das culturas, a grande profundidade dos solos do Cerrado e suas capacidades de estocar o C.

Mesmo considerando que grande parte do C fixado nos alimentos tende a voltar para a atmosfera pelo consumo humano ou de animais, parte fica retida nos alimentos a serem consumidos dentro da logística de distribuição e estoque. No caso do algodão, o C contido nas fibras tende a permanecer fixado por muito mais tempo, haja vista que tecidos fabricados com este material podem durar muitos anos, dependendo do destino e da finalidade de uso (Pezzolo, 2019). Sejam quais forem os motivos para o retorno do C fixado nos alimentos e fibras, de forma geral, ele ocorre prioritariamente em prol das atividades essenciais à vida humana.

O balanço total, que considera a soma do C determinado no solo, na biomassa sobre o solo ao fim de seis anos e em toda a produção colhida no período, mostra a superioridade do SPD em relação ao PC quanto à eficiência em sequestrar C (Figura 3).

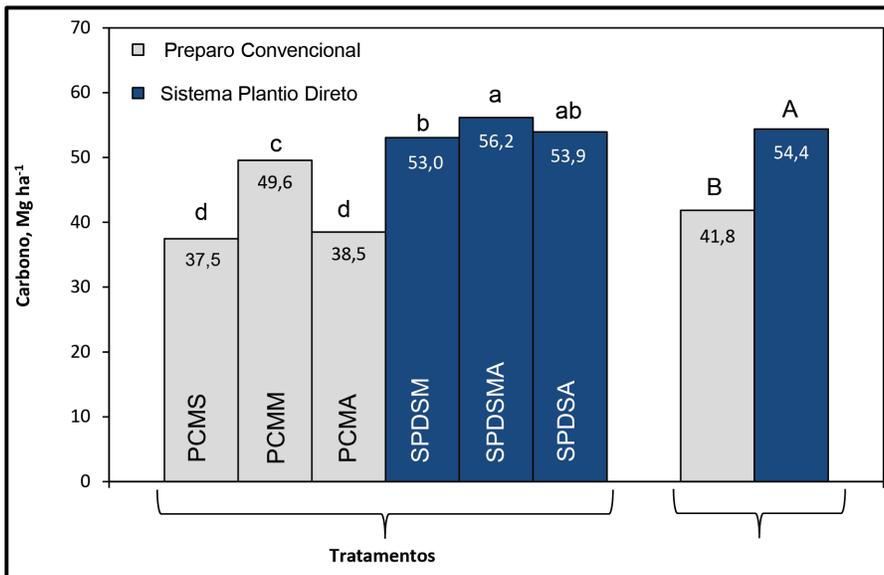


Figura 3. Quantidade acumulada de carbono, relativa à soma do estocado no solo até a profundidade de 40 cm, na biomassa localizada sobre a superfície do solo ao fim do sexto ano de cultivo* e nos grãos e fibras produzidos durante os seis anos, em função dos diferentes sistemas de manejo do solo, de rotação e sucessão de culturas. Médias com mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), e médias com letras maiúsculas divergentes diferem entre si pelo teste t de Student ($P \leq 0,05$). *Solo de PCMS, PCMM e PCMA – a biomassa residual das plantas foi incorporada ao solo pelo preparo convencional.

Todos os tratamentos sob SPD, independentemente do esquema de rotação/sucessão usado, apresentaram valores superiores da quantidade acumulada de carbono em relação ao obtido nos monocultivos de soja, de milho e de algodão sob PC (Figura 3). O monocultivo de milho, em comparação ao da soja e do algodão, apresentou maior valor, em virtude da grande quantidade de C sequestrado pelas colheitas. Entretanto, esse valor foi inferior aos valores obtidos nos tratamentos sob SPD.

Na média, o cultivo sob SPD sequestrou 31% a mais C que sob PC. Comparados os tratamentos SPDSA aos tratamentos PCMS e PCMA, nos quais não houve cultivo de milho, a superioridade do SPD sobre o PC para sequestrar C é equivalente a 42% (Figura 3). Tais resultados demonstram a importância do SPD para melhorar o potencial produtivo das culturas e para a conservação do ambiente. Segundo Minasny et al. (2018), o solo e a agricultura fazem parte da solução para o sequestro de C, visto também como uma forma de melhoria da resiliência do solo às mudanças climáticas.

A conversão do Cerrado com vegetação nativa em área cultivada, inclusive em sistema conservacionista como o SPD – no qual há equilíbrio entre as taxas de deposição e decomposição (*inputs* e *outputs*) dos resíduos nos solos tropicais –, pode não resultar necessariamente em acúmulo constante de biomassa de cobertura e C no solo (Sant-Anna et al., 2017), bem como em colheitas de grãos e fibras em quantidades semelhantes todos os anos. Entretanto, o conhecimento dessas alterações possibilita a construção de um método padrão para que mensurações anuais sejam feitas de modo a determinar a real quantidade de C que o sistema sequestrou em cada safra, e oferecer bonificações como forma de recompensa pelo trabalho positivo de redução do C da atmosfera.

Conclusões

O acúmulo de carbono em um solo arenoso, em até 40 cm de profundidade, é muito superior no sistema plantio direto em relação ao solo preparado de forma convencional com monocultivo de algodão, de milho ou de soja.

O sequestro de carbono da atmosfera em uma área agrícola não se restringe ao acúmulo desse elemento no solo, pois os cultivos soja, milho e algodão também sequestram carbono da atmosfera por meio da produção de grãos e fibras que são colhidas.

O sistema plantio direto também sequestra carbono da atmosfera na biomassa vegetal, proveniente dos restos culturais e das plantas de cobertura, acumulada sobre a superfície do solo.

As produtividades da soja, do milho e do algodão aumentam quando essas espécies são cultivadas de forma rotacionada em um solo arenoso sob sistema plantio direto.

Em solo arenoso, a eficiência do sistema plantio direto com rotação de soja, milho e algodão para sequestrar carbono da atmosfera, estocando-o no solo, na biomassa de cobertura do solo e nos produtos colhidos, é superior em relação aos cultivos produzidos por meio do preparo convencional do solo.

O sistema plantio direto, em solo arenoso do Extremo Oeste Baiano, é fundamental para a obtenção de produtividades mais elevadas e o aumento dos estoques de carbono no solo, viabilizando a atividade agrícola na região.

Referências

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 599-607, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, Apr. 2006.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: Agronomy Society of America and Soil Science Society of America, 1986. pt. 1. p. 363-375.
- BONINI, C. C. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 388-393, 2015.
- CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Quantification methods of carbon and organic matter in organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1211-1220, 2012.
- CARVALHO, A. M. D.; MARCHÃO, R. L.; SOUZA, K. W.; BUSTAMANTE, M. M. D. C. Soil fertility status, carbon and nitrogen stocks under cover crops and tillage regimes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 5, p. 914-921, 2014.
- CASTELLI, F.; CEOTTO, E.; BORRELLI, L.; CABASSI, G.; MOSCHELLA, A.; FORNARA, D. No-till permanent meadow promotes soil carbon sequestration and nitrogen use efficiency at the expense of productivity. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 37, n. 6, p. 55, 2017.
- CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigations options. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.
- CONAB. Companhia Nacional do Abastecimento. **Séries históricas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- CORBEELS, M.; MARCHÃO, R. L.; SIQUEIRA, N. M.; FERREIRA, E. G.; MADARI, B. E.; SCOPEL, E.; BRITO, O. R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific reports**, v. 6, art. 21450, 2016.

DINIZ, F. D. A.; RAMOS, A. M.; REBELLO, E. R. G. Brazilian climate normals for 1981-2010.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 53, n. 2, p. 131-143, 2018.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 12. ed. Washington, DC, 2014. 360 p.

FERREIRA, A. C. B.; LAMAS, F. M. Espécies vegetais para cobertura do solo: influência sobre plantas daninhas e a produtividade do algodoeiro em sistema plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.6, p. 778-786, 2010.

FERREIRA, A. C. B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. N.; BOGIANI, J. C.; SILVA, M. A. S.; SILVA FILHO, J. L.; STAUT, L. A. Soil carbon accumulation in cotton production systems in the Brazilian Cerrado. **Acta Scientiarum-Agronomy**, Maringá, v. 42, p. e43039, 2020.

GARCIA, R. A.; LI, Y.; ROSOLEM, C. A. Soil Organic Matter and Physical Attributes Affected by Crop Rotation Under No-till. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 1724-1731, 2013.

MENDES, I. C.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**, v.359, n. 1-2, p. 183-195, set. 2012.

MINASNY, B.; MALONE, B. P.; MCBRATNEY, A. B.; ANGERS, D. A.; ARROUAYS, D.; CHAMBERS, A.; CHAPLOT, V.; CHEN, Z.; CHENG, K.; DAS, B. S.; FIELD, D. J.; GIMONA, A.; HEDLEY, C. B.; HONG, S. Y.; MANDAL, B.; MARCHANT, B. P.; MARTIN, M.; MCCONKEY, B. G.; MULDER, V. L.; O'ROURKE, S.; RICHER-DE-FORGES, A. C.; ODEH, I.; PADARIAN, J.; PAUSTIAN, K.; PAN, G.; POGGIO, L.; SAVIN, I.; STOLBOVOY, V.; STOCKMANN, U.; SULAEMAN, Y.; TSUI, C.; VÁGEN, T.; VANWESEMAEL, B.; WINOWIECKI, L. Soil carbon 4 per mille. **Geoderma**, v. 292, p. 59-86, 2017.

MINASNY, B.; ARROUAYS, D.; MCBRATNEY, A. B.; ANGERS, D. A.; CHAMBERS, A.; CHAPLOT, V.; ZUENG-SANG, C.; KUN, C.; BHABANI, S. D.; FIELD, D. J.; GIMONA, A.; HEDLEY, C.; HONG, S. Y.; MANDAL, B.; MALONE, B. P.; BEN, P.; MARTIN, M.; MCCONKEY, B. G.; MULDER, V. L.; O'ROURKE, S.; RICHER-DE-FORGES, A. C.; ODEY, I.; PADARIAN, J.; PAUSTIAN, K. Rejoinder to Comments on Minasny et al., 2017 Soil carbon 4 per mille **Geoderma** 292, 59-86. *Geofísica*, v.309, p.124-129, 2018.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.) **Methods of soil analysis: part 3: chemical methods**. Madison: Agronomy Society of America and Soil Science Society of America, 1996. p. 961-1010.

OGLE, S. M.; SWAN, A.; PAUSTIAN, K. No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 149, p. 37-49, 2012.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas tipos e usos**. ed. 5. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2019. 328 p.

PICCOLI, I.; CHIARINI, F.; CARLETTI, P.; FURLAN, L.; LAZZARO, B.; NARDI, S.; BERTI, A.; SARTORI, L.; DALCONI, M. C.; MORARI, F. Disentangling the effects of conservation agriculture practices on the vertical distribution of soil organic carbon. Evidence of poor carbon sequestration in North-Eastern Italy. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 230, p. 68-78, 2016.

RAPHAEL, J. P.; CALONEGO, J. C.; MILORI, D. M. B.; ROSOLEM, C. A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 45-53, 2016.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLINI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015.

SANT-ANNA, S. A.; JANTALIA, C. P.; SÁ, J. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; ALVES, B. J.; URQUIABA, S.; BODDEY, R. M. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 1, p. 101-120. 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; BATISTA, M. A.; DART, R. O.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.

SCOPEL, E.; TRIOMPHE, B.; AFFHOLDER, F.; SILVA, F. A. M. da; CORBEELS, M.; XAVIER, J. H. V.; LAHMAR, R.; RECOUS, S.; BERNOUX, M.; BLANCHART, E.; MENDES, I. C.; TOURDONNET, S. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 33, n. 1, p. 113–130, jan. 2013.

SILVA, J. E., LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 541-547, 1994.

SOUSA, D. M. G. DE; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. D. M.; COSTA, L. A. D. M. Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema de plantio direto, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 3, p. 401-408, 2011.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS. 1995. 174 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

Embrapa

Territorial

Apoio Técnico



Apoio



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

