

Perda e recuperação de carbono devido a sistemas de cultivo em agroecossistemas subtropical e tropical⁽¹⁾.

João Carlos de Moraes Sá⁽²⁾; Florent Tivet⁽³⁾; Ratan Lal⁽⁴⁾; Clever Briedis⁽⁵⁾; Daiani da Cruz Hartman⁽⁶⁾; Paulo Rogério Borszowski⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da fundação AGRISUS.

⁽²⁾ Professor; Universidade Estadual de Ponta Grossa; Ponta Grossa, Paraná; jcmsa@uepg.br; ⁽³⁾ Pesquisador; Cirad;

⁽⁴⁾ Professor; The Ohio State University; ⁽⁵⁾ Estudante de Doutorado; Universidade Estadual de Ponta Grossa;

⁽⁶⁾ Estudante de graduação; Universidade Estadual de Ponta Grossa; ⁽⁷⁾ Professor; Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais.

RESUMO: O uso contínuo do preparo do solo na condução de lavouras para produção de grãos tem sido a principal causa da degradação do solo. O presente estudo foi realizado em região subtropical (PG) e tropical (LRV) no Brasil, com objetivo de avaliar a redistribuição do estoque de carbono orgânico do solo (COS) no perfil do solo em relação à capacidade de resiliência do solo e o impacto sobre a produtividade agrônômica. Em região subtropical o solo sob plantio direto (PD), em 0-20 cm de profundidade, continha 17,0 e 14,3 Mg ha⁻¹ de COS a mais do que aqueles sob plantio convencional (PC) e plantio mínimo (PM), respectivamente. Em região tropical os estoques de C em profundidade de 0-20 cm sob PD, com predomínio de gramíneas durante a estação seca (PD1, PD5, PD6), foram significativamente maiores em comparação com aqueles sob PC. A taxa de sequestro do COS foi de 0,59 para PG, e variou entre 0,48 - 1,30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em LRV. O índice de resiliência (IR) do COS variou de 0,29 a 0,79, e aumentou de acordo com as maiores entradas de C entre os sistemas PD e as taxas de sequestro de COS em LRV. Dessa forma, conclui-se que o sistema de cultivo PD com entrada de C elevada tem um grande potencial para reverter o processo de degradação do solo e diminuição do COS.

Termos de indexação: Sequestro de C, sistemas de manejo, resiliência do solo.

INTRODUÇÃO

Práticas de manejo que favorecem a oxidação da matéria orgânica do solo (MOS) pelos microrganismos e a consequente liberação de dióxido de carbono (CO₂) podem elevar ainda mais a quantidade de C na atmosfera. Contudo, o processo também pode ser inverso: o solo pode contribuir para retirar CO₂ da atmosfera e retardar seu retorno, quando práticas conservacionistas de manejo são utilizadas. Estas práticas, como sistema plantio direto em associação à rotação de culturas,

conduzem ao aumento da MOS, garantindo a qualidade do solo e contribuindo para diminuir a emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (Bayer et al., 2000).

A quantidade, a qualidade e a frequência dos resíduos vegetais adicionados ao solo e associado ao plantio direto constituem-se como componentes básicos para o aumento do estoque de C sob uma ampla gama de taxas de decomposição, mineralogia do solo e características do perfil (Sá et al., 2013).

A sustentabilidade do uso do solo deve respeitar seu poder de resiliência, de modo que, ao final da exploração antrópica, volte a exercer os mesmos papéis que exercia antes de sua exploração com a mesma capacidade (Marzall & Almeida, 2000). A acumulação de matéria orgânica via resíduos e/ou raízes contribuem para o aumento da resiliência, pois afeta a ciclagem de nutrientes, a agregação do solo, a população e composição da fauna edáfica impactando diretamente no funcionamento do sistema solo (Griffiths et al., 2000).

O presente estudo foi realizado com objetivo de avaliar a redistribuição do estoque de COS no perfil do solo em relação à capacidade de resiliência do solo e o impacto sobre a produtividade agrônômica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com solos provenientes de duas localidades: Ponta Grossa (PG), PR (25°09'S - 50°09'W), Latossolo Vermelho Distrófico, com três tratamentos: PC, PD, e Plantio mínimo (PM); e Lucas do Rio Verde (LRV), MT (13°00'S - 55°58'W), Latossolo Vermelho-Amarelo, com oito tratamentos PC, VN e seis PDs com diferentes susseções de culturas, .

As entradas anuais de C, a partir de resíduos de colheita foram calculadas segundo Sá et al., (2001)

A leitura de COS foi realizada pelo método de combustão seca utilizando um analisador elementar CN (CN TruSpec, LECO, St. Joseph, MI, EUA). Os estoques de C foram estimados a 1 m de

profundidade, e calculados com uma massa equivalente (Ellert & Bettany, 1995).

As taxas de variação de COS ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) entre VN e PC, e entre PD e PC, foram estimados por meio das equações (Eq.) 1 e 2:

$$\text{Taxa de redução} = (\text{COS}_{\text{VN}} - \text{COS}_{\text{PC}}) / t \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{Taxa de recuperação} = (\text{COS}_{\text{PD}} - \text{COS}_{\text{PC}}) / t \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde, COS_{VN} , COS_{PD} e COS_{PC} referem-se ao estoque de C sob VN, PD e PC, respectivamente, e t é o tempo (anos) da conversão de VN para PC e de PC para PD.

O índice de resiliência (IR) foi calculado para avaliar a taxa de recuperação de COS para diferentes sistemas de PD. (Eq. 3):

$$\text{IR} = (\text{COS}_{\text{PD}} - \text{COS}_{\text{PC}}) / (\text{COS}_{\text{VN}} - \text{COS}_{\text{PC}}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que, IR é o índice de resiliência.

As diferenças entre os tratamentos foram testados através de análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pela diferença mínima significativa (LSD) ao nível 5% de probabilidade. Todos os cálculos estatísticos foram realizados utilizando o pacote AOV, do programa R versão 2.11.1 (2006). O programa SigmaPlot 12,0 foi usado para a representação gráfica

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ponta Grossa

O solo sob PD, em 0-20 cm de profundidade, continha 17,0 e 14,3 Mg ha^{-1} de COS a mais do que aqueles sob PC e PM, respectivamente (Tabela 1). Estes dados representam uma taxa de acúmulo anual de 590 e 490 kg ha^{-1} de COS a mais do que aqueles sob o PC e PM, respectivamente. A taxa de sequestro de COS é relativamente baixa, devido à baixa quantidade de biomassa acrescentada através de resíduos culturais durante os 28 anos de experimento e a quase ausência de leguminosas como culturas de cobertura de inverno. Na profundidade de 40-100 cm não houve diferenças significativas entre os tratamentos de manejo.

As taxas de sequestro de COS em PD no presente estudo estão de acordo com vários outros estudos no Brasil (SÁ et al., 2001, BAYER et al., 2006, BODDEY et al., 2010).

Lucas do Rio Verde

O estoque de COS nas camadas 0-20 e 20-40 cm sob PD1, PD5 e PD6 foram semelhantes ao da VN (Tabela 1). Em torno de 32% a 37% do estoque total de COS a 1 m de profundidade está presente na camada de 0-20 cm sob PD. Não foram observadas diferenças significativas no estoque de COS entre os sistemas PD. Além disso, na profundidade de 0-40 cm maiores estoques de COS foram observados nos solos sob PD, que receberam uma grande quantidade de biomassa seca por ano (PD1, PD5, PD6).

Os estoques de C em profundidade de 0-20 cm sob PD, com predomínio de gramíneas durante a estação seca (PD1, PD5, PD6), foram significativamente maiores em comparação com aqueles sob PC. Nenhuma diferença significativa foi observada entre os tratamentos na profundidade de 40-100 cm. Com referência ao sequestro de COS em profundidades diferentes, cerca de 65% do sequestro ocorreu na profundidade de 0-20 cm e o restante (35%) na profundidade de 20-40 cm.

Tabela 1- Efeitos de práticas de manejo do solo (plantio convencional, p.direto e p. mínimo) e sob a vegetação nativa (VN) em estoques de C orgânico do solo (COS) em LRV e PG para 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm de profundidade.

Local	Uso do solo	Profundidade (cm)					
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	
		Estoque de COS (Mg ha^{-1})					
PG	VN	92,0 a	53,7ns	44,0 ns	35,9 ns	32,3 ns	
	PC	67,4 b	52,9	48,1	42,1	39,0	
	PM	70,2 b	49,4	43,3	38,2	35,7	
	PD	84,4 a	53,2	47,8	42,0	39,1	
		Pvalores	<0,0001	0,625	0,403	0,139	0,175
		Estoque de COS (Mg ha^{-1})					
LRV	VN	48,0 a	27,7 a	20,9 ns	17,7 ns	16,0 ns	
	PC	33,8 c	21,8 c	17,3	15,0	16,2	
	PD1	44,2 ab	25,1 abc	18,1	16,1	15,7	
	PD2	39,5 bc	25,8 abc	18,8	15,3	15,2	
	PD3	37,7 bc	23,7 bc	18,1	15,1	15,6	
	PD4	37,7 bc	27,5 ab	19,5	16,2	15,3	
	PD5	43,3 ab	28,1 ab	19,0	15,3	14,8	
PD6	40,7 ab	26,5 ab	20,0	16,0	15,5		
		Pvalores	0,023	0,055	0,207	0,278	0,819

Letras minúsculas (colunas) referem-se à comparação entre os tratamentos de manejo dentro profundidade. ns = não significativo

Índice de resiliência do solo e relação com a produção de grãos de soja

O IR foi de 0,69 no PD em PG (Figura 1), e variou de 0,29 (PD3) a 0,79 (PD5) em LRV de acordo com o aumento da entrada de matéria seca entre sistemas de PD, indicando o potencial da entrada de biomassa sob sistemas de PD em restaurar o



COS reduzido pela conversão da VN para PC (Figura 2).

A forte relação entre o estoque de COS (1 m de profundidade) com o IR, indica que o aumento no COS melhora a qualidade do solo. Era de esperar, por conseguinte, o maior IR está associado com a maior taxa de sequestro de COS (PD5), e confirma a forte relação entre estes parâmetros. Deste modo, a biomassa necessária para manter um balanço positivo de COS em LRV e PG é estimada em 5,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C e 4,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C respectivamente.

O aumento do IR do solo através do sequestro de COS teve um efeito positivo e linear sobre a produtividade das culturas. Cada aumento de 1 Mg em estoque de COS a 1 m de profundidade aumentou a produção de soja em 28 kg ha⁻¹, e cada aumento de unidade de 1 em IR aumentou a produção de soja em 600 kg ha⁻¹ (Figura 3).

CONCLUSÕES

Os dados apresentados indicam que o estoque de COS é drasticamente reduzido pela conversão da vegetação nativa a PC tanto em PG quanto em LRV.

O PD em relação ao PC promove sequestro de COS na camada de 0 -20 cm, nos ambientes tropical e subtropical.

O alto IR do COS, em ambiente tropical sob PD, indica um potencial considerável de sistemas sem perturbação e com elevada e diversificada entrada de biomassa anual em reverter o processo de degradação do solo e diminuição de COS devido à conversão para PC.

A recuperação de COS é determinada pela intensificação dos sistemas de cultivo sob PD, através da entrada contínua de biomassa para manter o fluxo de C no solo.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de bolsa a apresentadora. À Fundação Agrisus pelo apoio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin

resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil and Tillage Research*, 53:95-104, 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* 86, 237-245, 2006.

BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; DOS SANTOS, H.P.; DENARDIN, J.E.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology* 16: 784-795, 2010.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science* 75: 529-538, 1995.

GRIFFITHS, B.S.; RITZ, K.; BARDGETT, R.D.; COOK, R.; CHRISTENSEN, S.; EKELUND, F.; SORENSEN, S.J.; BAATH, E.; BLOEM, J.; DE RUITER, P.C.; DOLFING, J.; NICOLARDIT, B. Ecosystem response of pasture soil communities to fumigation-induced microbial diversity reductions; an examination of the biodiversity ecosystem function relationship. *Oikos*, Copenhagen, 90:279-294, 2000.

MARZALL, K.; ALMEIDA, J. Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas: estudo da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*. Brasília, 17: 41-59, jan.-mar 2000.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal* 65: 1486-1499, 2001.

SÁ, J. C. M. ; SEGUY, L. ; TIVET, F. ; LAL, R. ; BOUZINAC, S. ; BORSZOWSKI, P. R. ; BRIEDIS, C. ; SANTOS, J. B. ; HARTMAN, D.C. ; BORTOLINI, C. ; ROSA, J. A. ; FRIEDRICH, T. . Carbon depletion by ploughing and its restoration by no-till cropping systems in OXISOLS of sub-tropical and tropical agro-ecoregions in BRAZIL. *Land Degradation & Development*, 24:115, 2013.

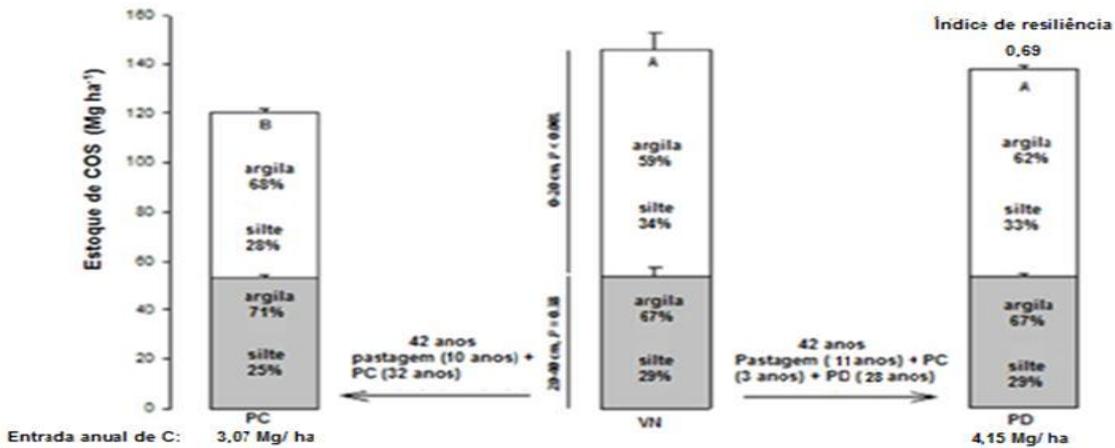


Figura 1- Estoques de C e Índice de resiliência devido a diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo de clima subtropical. As barras de erro indicam erros padrão das médias. Letras maiúsculas indicam diferença entre o uso da terra e tratamentos de preparo do solo. O nível de significância para cada intervalo de profundidade do solo é indicado.

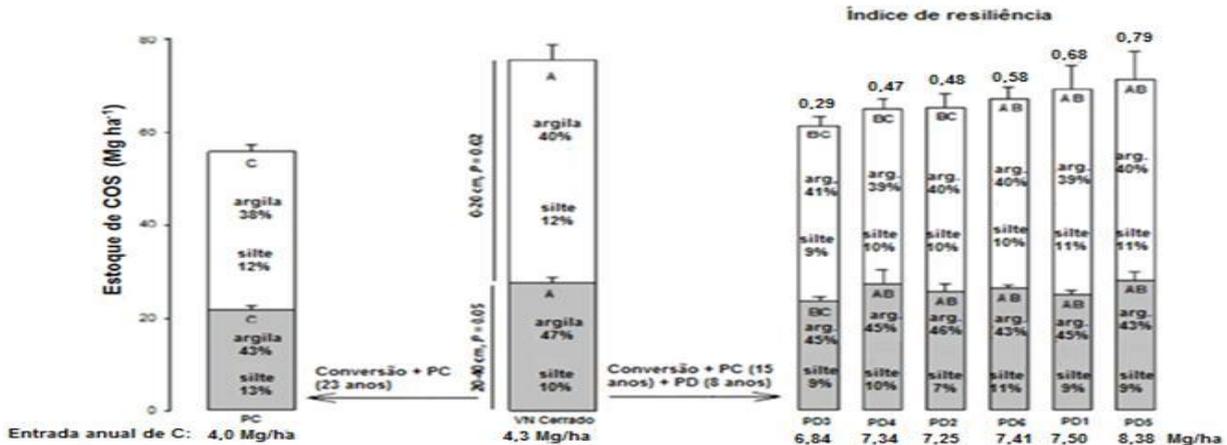


Figura 2- Estoques de C e índice de resiliência devido a diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo de clima tropical. As barras de erro indicam erros padrão das médias. Letras maiúsculas indicam diferença entre o uso da terra e tratamentos de preparo do solo. O nível de significância para cada intervalo de profundidade do solo é indicado.

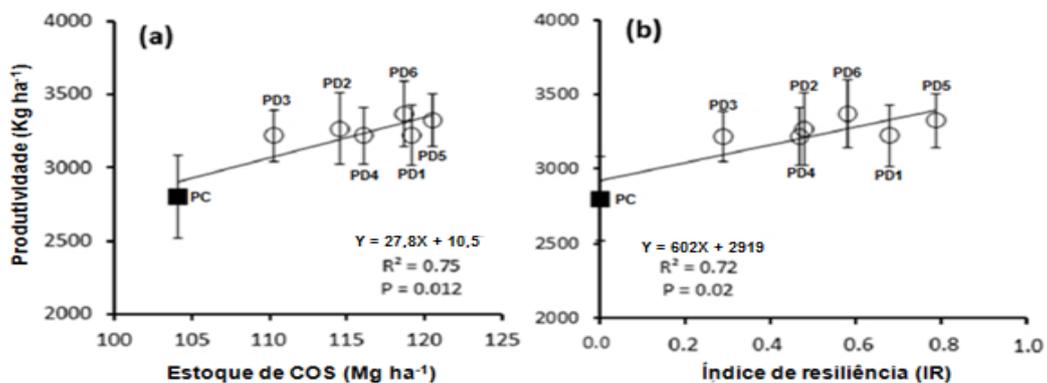


Figura 3- Relação entre (a) estoque de C orgânico do solo COS (eixo x, $Mg\ ha^{-1}$) em sistemas PD para 0- 100 cm de profundidade e rendimento da soja (eixo Y, $kg\ ha^{-1}$), e (b) o índice de resiliência (eixo x) e produtividade (eixo y, $kg\ ha^{-1}$) em LRV.