



Foto: Fernando Antonio Fernandes.  
Embrapa Pantanal

## Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo

Fernando Antonio Fernandes<sup>1</sup>  
Ana H B Marozzi Fernandes<sup>2</sup>

### Introdução

A conversão de ecossistemas naturais para uso agrícola pode exercer uma grande influência no destino do carbono (C) estocado nos solos. Mudanças no uso da terra alteram os processos biogeoquímicos do solo, com reflexos no estoque de C e no fluxo de gases entre o solo e a atmosfera. Dependendo das características da área e do sistema de manejo adotado, essas alterações podem representar uma mudança no papel do solo como reservatório de C, alterando as taxas de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). As emissões líquidas desses gases estão associadas com as mudanças nas quantidades do C estocado.

O impacto do manejo do solo sobre a matéria orgânica do solo (MOS) tem sido bem documentado, mas os impactos dos métodos para calcular os estoques armazenados no solo são igualmente importantes, porém, até hoje, muitas vezes são equivocadamente descritos. Trabalhos conduzidos até 1970 expressavam a quantidade de MOS na forma de concentração simplesmente -

kg C.Mg<sup>-1</sup> solo (Ellert e Bettany, 1995, citando Alway e Trumbull, 1910; Davidson et al., 1967). Posteriormente, os trabalhos desenvolvidos avançaram nessa conceituação, passando a expressar não somente valores de concentração, mas valores de estoque de C, considerando nesse cálculo as alterações da densidade aparente e espessura da camada estudada, sendo os resultados expressos por unidade de área – MgC.ha<sup>-1</sup> (Tiessen et al., 1982; Aguilar et al., 1988).

Entretanto, recentemente, esse cálculo foi considerado insuficiente, pois as práticas de manejo podem alterar a densidade do solo e, assim, ao se considerar uma mesma profundidade de uma área cultivada e de uma área sob vegetação nativa, as massas de solo serão diferentes, podendo levar a interpretações equivocadas (Veldkamp, 1994; Jantalia et al., 2006).

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, MSc., Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79320-900, Corumbá, MS.  
fafernan@cpap.embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheira Agrônoma, MSc, Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79320-900, Corumbá, MS.  
amarozzi@cpap.embrapa.br

Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo apresentar uma fórmula matemática para cálculo da correção dos estoques de C para uma mesma massa de solo, utilizada por Sisti et al. (2004), baseada nos trabalhos de Ellert e Bettany (1995). Pretende-se também mostrar a aplicação dessa fórmula em alguns exemplos.

## Correção dos estoques de C para uma mesma massa de solo

Considere-se uma situação hipotética de uma área antes e após o cultivo, onde não houve nem ganhos nem perdas de solo ou C, permanecendo a concentração de C do solo constante em 10 kg C.Mg<sup>-1</sup> de solo. A densidade aparente da área antes do cultivo era de 1,6 Mg.m<sup>-3</sup>, conferindo à área uma massa de solo para a camada 0-10 cm de 1600 Mg.ha<sup>-1</sup>. Após do cultivo, entretanto, a densidade aparente do solo era de 1,4 Mg.m<sup>-3</sup>, o que lhe conferiu uma massa de solo de 1400 Mg.ha<sup>-1</sup> para a mesma camada de solo considerada. Se, no cálculo dos estoques a espessura da camada permanecer fixa, massas diferentes de solo estarão sendo comparadas, levando a uma interpretação errônea sobre os efeitos do cultivo no armazenamento de C no solo.

Para contornar essa questão, Sisti et al. (2004) apresentaram uma fórmula matemática para correção dos estoques de C do solo, levando-se em conta as diferenças nas massas de solo. Essa fórmula foi baseada nos trabalhos de Ellert e Bettany (1995).

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{ti} + \left[ M_{tn} - \left( \sum_{i=1}^n M_{ti} - \sum_{i=1}^n M_{si} \right) \right] * C_{tn}$$

onde:

$C_s$  = estoque de C total, corrigido em função da massa de solo de uma área de referência

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{ti}$  = somatório dos estoques de C do solo da primeira à penúltima camada amostrada, no tratamento considerado (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$M_{tn}$  = massa do solo da última camada amostrada no tratamento (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$\sum_{i=1}^n M_{ti}$  = somatório da massa total do solo amostrado sob o tratamento (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$\sum_{i=1}^n M_{si}$  = somatório da massa total do solo amostrado na área de referência (Mg.ha<sup>-1</sup>)

$C_{tn}$  = teor de C do solo na última camada amostrada (Mg C. Mg<sup>-1</sup> de solo)

Antes da correção pela massa de solo, os estoques de C de cada uma das camadas, em todas as áreas estudadas, são calculados pela expressão (Veldkamp, 1994):

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e) / 10, \text{ onde:}$$

**Est C** = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha<sup>-1</sup>)

**CO** = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg<sup>-1</sup>)

**Ds** = densidade do solo da profundidade (kg.dm<sup>-3</sup>)

**e** = espessura da camada considerada (cm)

## Exemplos de correção

Na Tabela 1 são apresentadas as correções dos estoques de C do solo para áreas de pastagens de longa duração, degradada e não degradada, em relação à uma área sob cerrado nativo (adaptado de Jantalia et al., 2006). Como pode ser observado, os valores corrigidos dos estoques para a camada de 0-40 cm, tanto na área sob pastagem não degradada como sob pastagem degradada, são menores do que aqueles sem correção, superestimados em 6,3 e 2,2 %, respectivamente. Se fossem levados em consideração os dados não corrigidos poder-se-ia concluir que, apesar da pequena diferença entre as áreas, o solo sob pastagem degradada apresenta um maior estoque de C do que a área sob pastagem degradada, que é o que o senso comum, apoiado em diferentes trabalhos da literatura, diz que ocorre. Entretanto quando se analisam os dados corrigidos, as duas áreas apresentam praticamente o mesmo estoque de C, contrariando o senso comum.

Na Tabela 2, adaptada de Fernandes et al. (1999), estão apresentados os dados corrigidos para uma cronosequência de pastagem cultivada no Pantanal (áreas com 10 e 20 anos de implantação), tendo como área de referência um solo sob cerradão nativo. Também nesse caso os dados originais superestimam os estoques de C, quando comparados com os valores corrigidos, apesar de numa proporção menor que a tabela anterior (0,7 e 2,0 %, para as pastagens de 10 e 20 anos, respectivamente).

**Tabela 1.** Conteúdos e estoques de carbono (C) do solo em áreas de vegetação nativa de cerrado e pastagens de longa duração (adaptado de Jantalia et al., 2006).

Profundidade	Conteúdo de Carbono	Densidade aparente do solo (Dap)	Estoque de Carbono		Diferença
			Calculado <sup>a</sup>	Corrigido <sup>b</sup>	
cm	mg C.g <sup>-1</sup> solo	Kg.dm <sup>-3</sup>	Mg C.ha <sup>-1</sup>		%
<b>Vegetação nativa de cerrado antropizada</b>					
0-10	22,600	1,19	26,900	26,900	-
10-20	19,600	1,24	24,300	24,300	-
20-40	13,700	1,12	30,700	30,700	-
<b>0-40</b>			<b>81,900</b>	<b>81,900</b>	-
<b>Pastagem de longa duração não degradada</b>					
0-10	22,000	1,10	24,200	25,600	5,5
10-20	16,100	1,32	21,300	19,900	-7,0
20-40	10,800	1,33	28,700	24,200	-18,6
<b>0-40</b>			<b>74,200</b>	<b>69,800</b>	<b>-6,3</b>
<b>Pastagem de longa duração degradada</b>					
0-10	19,000	1,10	20,900	22,400	6,7
10-20	16,400	1,23	20,200	19,900	-1,5
20-40	12,200	1,23	30,000	27,300	-9,9
<b>0-40</b>			<b>71,100</b>	<b>69,600</b>	<b>-2,2</b>

a Teor de Carbono x Dap x Profundidade

b Correção por equivalência de massa

**Tabela 2.** Conteúdos e estoques de carbono (C) do solo em áreas de vegetação nativa de cerrado e pastagens de braquiária no Pantanal (adaptado de Fernandes et al., 1999).

Profundidade	Conteúdo de Carbono	Densidade aparente do solo (Ds)	Estoque de Carbono		Diferença
			Calculado <sup>a</sup>	Corrigido <sup>b</sup>	
cm	mg C.g <sup>-1</sup> solo	Kg.dm <sup>-3</sup>	Mg C.ha <sup>-1</sup>		%
<b>Vegetação nativa de cerradão</b>					
0-10	6,657	1,36	9,053	9,053	-
10-20	4,676	1,46	6,826	6,826	-
20-40	4,009	1,58	12,668	12,668	-
<b>0-40</b>			<b>28,548</b>	<b>28,548</b>	-
<b>Pastagem de <i>Brachiaria</i> sp. com 10 anos de implantação</b>					
0-10	6,673	1,41	9,410	9,257	-1,6
10-20	3,699	1,45	5,363	5,397	0,6
20-40	2,960	1,59	9,411	9,352	-0,6
<b>0-40</b>			<b>24,184</b>	<b>24,007</b>	<b>-0,7</b>
<b>Pastagem de <i>Brachiaria</i> sp. com 20 anos de implantação</b>					
0-10	4,966	1,40	6,952	6,842	-1,6
10-20	3,041	1,46	4,440	4,440	0,0
20-40	2,745	1,59	8,729	8,674	-0,6
<b>0-40</b>			<b>20,357</b>	<b>19,957</b>	<b>-2,0</b>

a Teor de Carbono x Dap x Profundidade

b Correção por equivalência de massa

## Considerações Finais

A equação para correção dos estoques de C para uma mesma massa de solo é muito importante quando se deseja comparar os efeitos de diferentes tipos de manejo de solo em relação a uma área de referência, conforme demonstraram os exemplos citados. Ressalta-se, porém, que quando a intenção do trabalho é apenas quantificar esses estoques para uma área, esse cálculo é desnecessário. Nesse caso, basta considerar a concentração de C do solo determinada, multiplicada pela densidade aparente e espessura da camada estudada.

## Referências

AGUILAR, R.; KELLY, E.F.; HEIL, R.D. Effects on cultivation on soils in northern Great Plains rangeland. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1081-1085, 1988.

DAVIDSON, J.M.; GRAY, F.; PINSON, D.I. Changes in organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. **Agronomy Journal**, v. 59, p. 375-378, 1967.

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

FERNANDES, F.A.; CERRI, C.C.; FERNANDES, A.H.B.M. Alterações na matéria orgânica de um Podzol hidromórfico pelo uso com pastagens

cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.1943-1951, 1999.

JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODEY, R.M.; URQUIAGA, S.. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo de solo. In: ALVES, B. J. R., URQUIAGA, S., AITA, C.; BODEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.A.O.(Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases do efeito estufa**. Porto Alegre: Embrapa Agrobiologia, 2006. p.35-57.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R.M.. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; BETTANY, J.R.. Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. **Agronomy Journal**, v.74, p.831-835, 1982.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

### COMO CITAR ESTE DOCUMENTO

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69). Disponível em: <[http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq\\_pdf=COT69](http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT69)>. Acesso em: 27 fev. 2009

### Comunicado Técnico, 69

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na: Embrapa Pantanal  
Endereço: Rua 21 de Setembro, 1880  
Caixa Postal 109  
CEP 79320-900 Corumbá, MS  
Fone: 67-32332430  
Fax: 67-32331011  
Email: sac@cpap.embrapa.br

1ª edição  
1ª impressão (2008): Formato digital

### Comitê de Publicações

**Presidente:** Thierry Ribeiro Tomich  
**Secretário-Executivo:** Suzana Maria Salis  
**Membros:** Débora Fernandes Calheiros  
Marçal Hernique Amici Jorge  
Jorge Ferreira de Lara  
Regina Célia Rachel dos Santos

### Expediente

**Supervisor editorial:** Suzana Maria de Salis  
**Revisão Bibliográfica:** Viviane de Oliveira Solano  
**Tratamento das ilustrações:** Regina Célia R. Santos  
**Editoração eletrônica:** Regina Célia R. Santos