

Foto: Fernando A. Fernandes



Atualização dos Métodos de Cálculo dos Estoques de Carbono do Solo sob Diferentes Condições de Manejo

Fernando Antonio Fernandes¹
Ana H. B. Marozzi Fernandes²

Introdução

Os solos armazenam na matéria orgânica aproximadamente duas vezes a quantidade de carbono presente na atmosfera como CO₂, representando um estoque de 1300 a 1500 GtC no primeiro metro (BATJES; SOMBROEK, 1997; LAL, 2002; SOMBROEK et al., 1993). Considerando que aproximadamente um terço desse carbono é constituído de formas lábeis com ciclagem rápida (SCHIMMEL, 1995), alterações no uso e manejo do solo podem atuar como fonte potencial de C-CO₂ para atmosfera. Por sua vez, a adoção de sistemas de manejo adequados pode determinar que solos de áreas agrícolas, de integração lavoura-pecuária e de pecuária atuem como um dreno de C-CO₂ da atmosfera, neutralizando parcialmente a emissão de metano (CH₄) e de óxido nitroso (N₂O) e reduzindo o potencial de aquecimento global destes sistemas de produção. Portanto, a adequada avaliação do estoque de carbono orgânico em sistemas de produção agropecuária é essencial para o balanço de gases de efeito estufa em sistemas rurais de produção.

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 os métodos são equivocadamente descritos. Trabalhos conduzidos até 1970 expressavam a quantidade de MOS na forma de concentração simples - kg C.Mg⁻¹ de solo (DAVIDSON et al., 1967; ELLERT; BETTANY, 1995).

Posteriormente, os trabalhos passaram a expressar não somente valores de concentração, como também os de estoque de carbono (C), considerando nesse cálculo as alterações na densidade aparente e a espessura da camada estudada, sendo os resultados expressos por unidade de área - MgC.ha⁻¹ (AGUILAR et al., 1988; TIESSEN et al., 1982).

Recentemente, essa métrica tem sido considerada 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 (JANTALIA et al., 2006; VELDKAMP, 1994). Várias são as propostas existentes em literatura para efetuar essa correção.

Este trabalho tem como objetivo apresentar duas equações para cálculo da correção dos estoques de C para uma mesma massa de solo. A primeira, utilizada por Sisti et al. (2004) baseada nos trabalhos de Ellert e Bettany (1995), e a segunda baseada nos trabalhos de Carvalho et al. (2009). Mostra-se a aplicação dessas fórmulas em exemplos práticos em solos do Cerrado e do Pantanal o cálculo e para correção dos estoques de carbono do solo.

¹ Engenheiro Agrônomo, Dr., Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79320-900, Corumbá, MS, fernando.fernandes@embrapa.br

² Engenheira Agrônoma, Dra., Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79320-900, Corumbá, MS, ana.marozzi-fernandes@embrapa.br

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^{-1} de solo. A densidade aparente (D_{ap}) da área antes do cultivo era de $1,6 \text{ Mg.m}^{-3}$, conferindo à área uma massa de solo para a camada 0-10 cm de 1.600 Mg.ha^{-1} . Após o cultivo, entretanto, a densidade aparente do solo era de $1,4 \text{ Mg.m}^{-3}$, conferindo uma massa de solo de 1.400 Mg.ha^{-1} para a mesma camada de solo. 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 sugere-se duas alternativas de cálculo.

A) Correção baseada em Sisti et al. (2004)

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). Nesse método as massas de solos das áreas de estudo são ajustadas fazendo-se a correção da massa para a última profundidade amostrada em relação a uma área de referência.

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

onde:

C_s = estoque de C total, em Mg.ha^{-1} , 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^{-1});

M_{tn} = massa do solo da última camada amostrada no tratamento (Mg.ha^{-1});

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

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

C_{tn} = teor de C do solo na última camada amostrada (Mg C.Mg^{-1} de solo).

Antes de se aplicar a equação 1, os estoques de C devem ser calculados para cada uma das camadas de solo de cada área estudada, de acordo com a equação abaixo (VELDKAMP, 1994):

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times D_{ap} \times e) / 10 \quad (2)$$

onde:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha^{-1})

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg^{-1})

D_{ap} = densidade aparente do solo da profundidade (kg.dm^{-3})

e = espessura da camada considerada (cm)

B) Correção baseada em Carvalho et al. (2009)

Outra opção de cálculo para a correção dos estoques de C do solo, levando-se em conta as diferenças nas massas de solo, foi sugerida por Carvalho et al (2009), baseado nos trabalhos de Moraes et al. (1996) e Veldkamp (1994). Partindo da premissa proposta por Veldkamp (1994), de que a relação entre a densidade aparente e a espessura da camada permanece constante em relação ao solo de referência, o cálculo do estoque de cada camada amostrada pode ser calculado pela equação 3. Por esse método a correção é feita para cada camada estudada, corrigindo-se a espessura da mesma em relação à área de referência.

$$\text{EstC} = \frac{C_s * D_s * \left(\frac{D_{ref}}{D_s} * e \right)}{10} \quad (3)$$

onde:

EstC= estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha^{-1})

C_s = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg^{-1})

D_s = densidade aparente do solo na profundidade amostrada (kg.dm^{-3})

D_{ref} = densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência (kg.dm^{-3})

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 referência 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, os quais estão superestimados em 6,3% e 2,2%, respectivamente. Se fossem levados em conta os valores não corrigidos poder-se-ia concluir que, apesar da pequena diferença entre as áreas, o solo sob pastagem não degradada apresentaria um maior estoque de C do que a área sob pastagem degradada, que é de fato o que o senso comum, apoiado em diferentes trabalhos da literatura, diz que ocorre. Entretanto, quando se analisam os valores corrigidos na Tabela 1, as duas áreas apresentam praticamente o mesmo estoque de C, o que contradiz o senso comum.

Na Tabela 2 estão apresentados os dados corrigidos para áreas de pastagem cultivada no Pantanal (área com 10 e 20 anos de implantação), tendo como área de referência um solo sob cerrado 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).

Por vezes, o objetivo do estudo conduzido requer quantificação dos estoques até camadas mais profundas do solo. Nesses casos, a equação 3 proposta por Carvalho et al. (2009) talvez seja a mais indicada por ser mais simples.

A Tabela 3 apresenta um exemplo com valores de estoque corrigidos até 1 metro de profundidade para outra área de pastagem de braquiária com 20 anos de implantação no Pantanal, tendo como referência também outra área de vegetação nativa de cerrado.

Observa-se que também para essa área os estoques calculados estavam superestimados nas camadas mais superficiais em relação aos corrigidos, numa proporção maior do que para a área apresentada na Tabela 2. No entanto, nas camadas mais profundas, os estoques calculados estavam subestimados.

Considerações finais

A correção dos estoques de C para uma mesma massa de solo tem sido considerado imprescindível para uma avaliação mais precisa e realista quanto aos impactos de atividades antrópicas sobre os estoques de C do solo (tais como diferentes tipos de manejo de solo), em relação a uma área de referência sob vegetação nativa antropizada ou não, conforme demonstraram os exemplos citados.

Tabela 1. Conteúdos e estoques de carbono (C) do solo em áreas de vegetação nativa de cerrado e pastagens de longa duração utilizando a equação 1.

Profundidade cm	Conteúdo de carbono (mg C.g solo ⁻¹)	Densidade aparente do solo kg.dm ⁻³	Estoque de carbono		Diferença %
			Calculado ^a	Corrigido ^b	
Mg C.ha ⁻¹					
Vegetação nativa de cerrado antropizado					
0-10	22,60	1,19	26,90	26,90	-
10-20	19,60	1,24	24,30	24,30	-
20-40	13,70	1,12	30,70	30,70	-
0-40			81,90	81,90	-
Pastagem de longa duração não degradada					
0-10	22,00	1,10	24,20	25,60	+5,5
10-20	16,10	1,32	21,30	19,90	-7,0
20-40	10,80	1,33	28,70	24,20	-18,6
0-40			74,20	69,80	-6,3
Pastagem de longa duração degradada					
0-10	19,00	1,10	20,90	22,40	+6,7
10-20	16,40	1,23	20,20	19,90	-1,5
20-40	12,20	1,23	30,00	27,30	-9,9
0-40			71,10	69,90	-2,2

Fonte: Adaptado de Sisti et al. (2004). a (Teor de carbono x Densidade aparente do solo x Profundidade)/10; 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 cm	Conteúdo de carbono mg C.g solo ⁻¹	Densidade aparente do solo kg.dm ⁻³	Estoque de carbono		Diferença %
			Calculado ^a	Corrigido ^b	
Mg C.ha ⁻¹					
Vegetação nativa de cerrado					
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	-
0-40			28,548	28,548	-
Pastagem de braquiária com 10 anos de implantação					
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
0-40			24,184	24,007	-0,7
Pastagem de braquiária com 20 anos de implantação					
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
0-40			20,357	19,957	-2,0

a (Teor de carbono x Densidade aparente do solo x Profundidade)/10; b correção por equivalência de massa.

Tabela 3. Conteúdos e estoques de carbono (C) do solo em áreas de vegetação nativa de cerrado e pastagem de braquiária no Pantanal.

Profundidade cm	Conteúdo de carbono mg C.g solo ⁻¹	Densidade aparente do solo kg.dm ⁻³	Estoque de carbono		Diferença %
			Calculado ^a	Corrigido ^b	
Mg C.ha ⁻¹					
Vegetação nativa de cerrado					
0-10	6,10	1,39	8,44	8,44	-
10-20	2,25	1,55	3,48	3,48	-
20-30	2,11	1,53	3,24	3,24	-
30-40	1,75	1,57	2,74	2,74	-
40-60	1,47	1,55	4,55	4,55	-
60-80	1,19	1,59	3,78	3,78	-
80-100	2,29	1,56	7,14	7,14	-
0-100			33,39	33,39	-
Pastagem de braquiária com 20 anos de implantação					
0-10	2,63	1,59	4,19	3,65	-12,9
10-20	2,10	1,59	3,33	3,24	-2,7
20-30	2,08	1,54	3,21	3,20	-0,3
30-40	2,12	1,58	3,36	3,33	-0,9
40-60	1,99	1,55	6,18	6,17	-0,2
60-80	1,58	1,56	4,95	5,05	+2,0
80-100	1,86	1,55	5,76	5,81	+0,9
0-100			30,98	30,46	-1,7

a (Teor de carbono x Densidade aparente do solo x Profundidade)/10; b correção por equivalência de massa.

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.

BATJES, N. H.; SOMBROEK, W. G. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. **Global Change Biology**, v. 3, p. 161-173, 1997.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGEL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p.342-349, 2009.

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 sequestro de C e nas emissões de gases do efeito estufa**. Porto Alegre: Embrapa Agrobiologia, 2006. p.35-57.

LAL, R. Soil carbon dynamic in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 353-362, 2002.

MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia. **Geoderma**, v. 70, p. 63-81, 1996.

SCHIMEL, D. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. **Global Change Biology**, v. 1, p. 77-91, 1995.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, 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.

SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v. 22, p. 417-426, 1993.

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. **Atualização dos métodos de cálculo de estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2013. 5 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 95). Disponível em: <www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/COT95.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2013.

Comunicado Técnico, 95

Embrapa Pantanal
Endereço: Rua 21 de Setembro, 1880
Caixa Postal 109
CEP 79320-900 Corumbá, MS
Fone: 67-3234-5800
Fax: 67-3234-5815
E-mail: cpap.sac@embrapa.br

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



1ª edição
1ª impressão (2013): formato digital

Comitê Local de Publicações

Presidente: Suzana Maria Salis
Membros: Ana Helena B. M. Fernandes
Dayanna Schiavi N. Batista
Sandra Mara Araújo Crispin
Vanderlei Donizeti A. do Reis
Secretária: Eliane Mary Pinto de Arruda

Expediente

Supervisora editorial: Suzana Maria Salis
Editoração eletrônica: Eliane Mary Pinto de Arruda
Disponibilização na home page: Marilisi Jorge da Cunha