



XXXI  
CONGRESSO  
BRASILEIRO  
DE CIÊNCIA  
DO SOLO

CONQUISTAS  
& DESAFIOS  
da Ciência do  
Solo brasileira



De 05 a 10 de agosto de 2007 Serrano Centro de Convenções - Gramado-RS

## Estoque de Carbono nos Solos do Brasil

**E.C.C.FIDALGO<sup>(1)</sup>, V.M.BENITES<sup>(2)</sup>, P.L.O.A.MACHADO<sup>(3)</sup>, I.B.MOURA<sup>(4)</sup>, C.X.LIMA<sup>(4)</sup>,  
B.E.MADARI<sup>(3)</sup> & M.R.COELHO<sup>(2)</sup>**

**RESUMO** - Estimativas de estoque de carbono nos solos do Brasil em nível nacional são poucas e se deparam com a falta de informações disponíveis sobre a quantidade de carbono orgânico nos solos sob diferentes usos e em diferentes regiões. Utilizando informações disponíveis na base de dados de solos “SIGSOLOS”, organizada pela Embrapa Solos, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estimar o estoque de carbono no solo no Brasil considerando os diferentes tipos de solo sob diferentes sistemas de uso e distribuídos nos diversos biomas brasileiros. Para a estimativa do estoque de carbono nos solos considerou-se três diferentes conjuntos de dados: as médias de C por tipo de solo; as médias de C por tipo de solo em cada bioma do território brasileiro; e as médias de C por tipo de solo, separados por tipo de uso e por bioma em que ocorrem. A estimativa do estoque de carbono foi obtida através da somatória do produto da média de C estimada - com base nas informações da base de dados de solos - e da área correspondente de cada conjunto de dados. As estimativas de estoque de carbono obtidas - 36,60, 36,30 e 34,65 Pg de C, respectivos a cada conjunto de dados - apresentam valores próximos entre si e compatíveis com a estimativa obtida em outro estudo. Porém uma análise mais detalhada dos resultados mostra que a base de dados disponível apresenta lacunas que impedem a estimativa robusta do estoque de carbono dos solos do Brasil considerando a distribuição das classes de solos em todos os biomas do território nacional e os diferentes tipos de uso do solo.

### Introdução

Este trabalho está inserido no Projeto Agrogases, financiado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – Macroprograma 1), cujo principal objetivo é avaliar o estoque de carbono e quantificar as emissões de gases de efeito estufa em agrossistemas, visando a identificação e seleção de práticas agrícolas sustentáveis e mitigadoras, bem como analisar a vulnerabilidade e os riscos dos sistemas agrícolas aos efeitos de mudanças globais.

O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e sua influência sobre as mudanças climáticas globais suscitaram o interesse internacional sobre a dinâmica de dispersão do carbono para a atmosfera.

Os solos representam um importante componente no ciclo biogeoquímico do carbono, armazenando cerca de quatro vezes mais C que a biomassa vegetal e quase três vezes mais que a atmosfera (IPCC [1]). As principais fontes e sumidouros de CO<sub>2</sub> nos solos estão

associadas às mudanças na quantidade de carbono orgânico estocada. A quantidade e a qualidade de entrada de carbono orgânico e a taxa de decomposição do carbono orgânico do solo são determinadas pela interação entre clima, solo e uso e manejo das terras (incluindo histórico de uso das terras).

Devido à dificuldade na obtenção de medidas diretas de mudança de carbono no solo, IPCC/UNEP/OECD/IEA [2] reconhecem a importância da estimativa do estoque de carbono dos solos para o inventário.

Estimativas de estoque de carbono nos solos do Brasil em nível nacional são poucas e se deparam com a falta de informação disponível sobre a quantidade de carbono orgânico nos solos sob diferentes usos e em diferentes regiões do Brasil. Bernoux *et al.* [3], combinando diferentes associações de solo/vegetação com dados de bases de solos, estimaram que os solos brasileiros apresentam  $36,4 \pm 3,4$  Pg de carbono entre 0 e 30 centímetros. Para esta estimativa, os autores utilizaram uma classificação simplificada de solos baseada nas recomendações de IPCC/UNEP/OECD/IEA [2], agrupando os solos brasileiros em 6 classes.

A Embrapa Solos organizou uma base de dados de solos, “SIGSOLOS”, com a finalidade de potencializar o armazenamento, a manipulação e a disponibilização das informações disponíveis sobre os solos brasileiros (Chagas *et al.* [4]). Essa base é composta por informações oriundas de levantamentos de solos, teses e artigos científicos publicados no período de 1958 a 2001, provenientes principalmente da Embrapa Solos.

Utilizando as informações disponíveis nesta base de dados de solos, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estimar o estoque de carbono no solo no Brasil considerando os diferentes tipos de solo sob diferentes sistemas de uso e distribuídos nos diversos biomas brasileiros.

**Palavras-Chave:** Estoque de carbono, carbono no solo.

### Material e métodos

A base de dados de solos disponível na Embrapa Solos conta com informações sobre 2257 perfis (8441 horizontes) de levantamentos realizados entre 1958 e 2001. Destes horizontes, apenas 1542 apresentam informações sobre a densidade do solo. Para os demais horizontes em que não havia a informação de densidade, utilizou-se um procedimento estatístico baseado no desenvolvimento de funções de pedotransferência para prever a densidade. A metodologia empregada e os resultados deste trabalho são descritos por Benites *et al.* [5]

Após a obtenção da densidade do solo nos horizontes, foi realizada a estimativa de carbono por horizonte utilizando a equação:

$$C_t = C \cdot DS \cdot E / 100$$

onde

$C_t$  = carbono total no horizonte em  $\text{kg/m}^2$ ,

$C$  = conteúdo de carbono orgânico em  $\text{g.kg}^{-1}$ ,

$DS$  = densidade do solo medida (para os casos em que essa informação estava disponível) ou estimada segundo a equação anterior (para os demais casos) em  $\text{g.cm}^{-3}$  e

$E$  = espessura do horizonte em cm.

O próximo passo foi calcular o carbono total para uma camada de 30 centímetros. Neste caso foi necessário estabelecer um conjunto de regras para padronizar a estimativa até essa profundidade: foram excluídos os perfis com profundidade final menor que 20 centímetros, os horizontes com profundidade inicial maior que 25 centímetros e também aqueles com profundidade final maior que 40 centímetros. O carbono total nos 30 centímetros iniciais do solo foi obtido por perfil somando a estimativa de carbono de cada horizonte no perfil até a profundidade máxima de 30 centímetros.

Para a estimativa do estoque de carbono nos solos do Brasil considerou-se três diferentes conjuntos de dados, aqui denominados grupamentos: (A) as médias de  $C$  por tipo de solo; (B) as médias de  $C$  por tipo de solo em cada bioma do território brasileiro; e (C) as médias de  $C$  por tipo de solo, separados por tipo de uso e por bioma em que ocorrem.

Para a estimativa da área de cada tipo de solo, uso e bioma foram utilizados: o mapa de solos do Brasil, o mapa de vegetação do Brasil e o mapa de biomas (IBGE, [6, 7 e 8]), todos em escala 1:5.000.000. Para o cálculo de área e integração de informações espaciais utilizou-se o programa ArcGIS versão 9.1 da ESRI.

As estimativas de média de  $C$  foram obtidas diretamente no banco de dados. Para a estimativa de média por tipo de solo, os solos presentes no banco foram classificados até o segundo nível categórico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, [9]). Neste caso, utilizaram-se as informações presentes no banco sobre as propriedades dos solos e sua classificação segundo sistemas anteriores. As médias por uso do solo foram obtidas a partir da categorização do uso definida com base na descrição do uso em cada perfil. As médias por bioma foram obtidas identificando, para cada perfil o bioma em que ele ocorre. Neste caso utilizou-se a localização dos perfis fornecida no banco de dados: as coordenadas geográficas dos perfis ou, no caso de ausência dessa informação, a localização da sede do município onde o perfil foi obtido.

A estimativa do estoque de carbono em cada cenário foi obtida através da somatória do produto da média estimada de  $C$  e da área correspondente de cada conjunto de dados, por exemplo, tipo de solo por bioma.

$$C = \sum \bar{C}_j \cdot A_j$$

onde

$\bar{C}$  = estoque de carbono dos solos,

$\bar{C}_j$  = média de carbono do conjunto  $j$ ,

$A_j$  = área do conjunto  $j$ .

## Resultados e Discussão

Dos 2257 perfis disponíveis no banco de dados de solos, após a exclusão dos perfis que não tinham dados de densidade do solo e dados necessários para a estimativa da densidade; dos perfis com profundidade menor que 20 centímetros; e daqueles com inconsistências de dados restaram 1764 perfis. Para estes foi estimado o estoque de carbono em  $\text{kg.m}^{-2}$ .

### A. Estimativa considerando os diferentes tipos de solo

Os solos presentes no banco de dados de solos se encontram distribuídos em 17 classes: Alissolo, Argissolo, Cambissolo, Chernossolo, Espodossolo, Gleissolo, Latossolo, Luvisolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Regolítico, Nitossolo, Planossolo, Planossolo Hidromórfico, Plintossolo e Vertissolo. A classificação no segundo nível categórico foi utilizada apenas nos casos em que as estimativas de carbono apresentaram muita variação ao se agrupar todos os solos no primeiro nível categórico. Neste caso incluem-se os Neossolos e o Planossolo Hidromórfico.

O método de estimativa de  $C$  não apresentou resultados satisfatórios para os Organossolos. Devido à pequena área que esses solos ocupam (0,026% da área do território nacional), decidiu-se retirá-los da análise.

Neste grupamento a estimativa de carbono envolveu dados provenientes de um total de 1712 perfis, totalizando 36,59 Pg de  $C$ .

As médias de carbono, o tamanho das amostras e o desvio padrão estimado para cada classe de solo, bem como a área e estoque de carbono estimado por classe de solo no Brasil são apresentados na Tabela 1. Observa-se que alguns tipos de solos apresentaram amostras de tamanho reduzido, com 2 a 6 perfis representando solos que ocupam dezenas ou centenas de milhares de quilômetros e se encontram distribuídos por todo o território nacional. Também se observa a grande variabilidade dos valores de carbono orgânico em cada classe de solo. A somatória do desvio padrão multiplicado pela área de cada classe de solo se aproxima da metade do valor estimado para o estoque de  $C$  dos solos do Brasil.

A distribuição, no mapa do Brasil, das classes de  $C$  estimado é apresentada na Fig. 1. Os espaços que apresentam valor igual a 0 de carbono correspondem principalmente às áreas de água, afloramento rochoso e dunas (2,00% do território nacional). Fazendo-se uma correção da estimativa para toda a área do território nacional, incluindo a área para a qual não se tem informação, tem-se a estimativa de 36,60 Pg de  $C$ .

### B. Estimativa considerando os diferentes tipos de solo em cada bioma

Neste grupamento, para a estimativa de carbono utilizou-se os dados provenientes de um total de 1700 perfis, totalizando 34,02 Pg de  $C$ .

Observou-se a carência expressiva de dados para os biomas Pantanal e Pampas. As combinações solo/bioma

presentes no mapa para os quais não havia estimativa de carbono ocupam uma área total de 4,20% do território nacional. Fazendo-se uma correção da estimativa para toda a área do território nacional, incluindo a área para a qual não se tem informação, tem-se a estimativa de 36,30 Pg de C.

### C. Estimativa considerando os tipos de solos sob os diferentes usos e biomas

Devido à falta de padronização e de detalhes na informação sobre uso do solo no banco de dados de solo, houve a necessidade de estabelecer uma classificação generalizada para padronizar as amostras disponíveis. O mapa de vegetação e uso da terra também foi reclassificado segundo as três classes definidas: *Água* - corpos d'água; *Área Antropizada* - áreas sob influência antrópica em que o ambiente já foi ou está sendo modificado significativamente por atividades produtivas e pela ocupação humana; e *Vegetação Original* - áreas em que a vegetação preserva suas características originais.

Para a estimativa de carbono neste grupamento utilizou-se os dados provenientes de um total de 752 perfis e totalizou 27,29 Pg de C.

As combinações solo/uso do solo/bioma presentes no mapa para os quais não havia estimativa de carbono ocupam uma área total de 18,8% do território nacional. Fazendo-se uma correção da estimativa para toda a área do território nacional, incluindo a área para a qual não se tem informação, tem-se a estimativa de 34,65 Pg de C.

A Tabela 2 apresenta o número de amostras utilizado para a obtenção da média de C dos três grupamentos criados, a área que eles representam no mapa e o estoque total de carbono estimado. Também foi acrescentado o cálculo da estimativa de carbono considerando a média de carbono de todos os perfis da base de dados multiplicada pela área do Brasil coberta por solos.

O estoque de carbono obtido considerando a média de todas as amostras apresenta valor muito próximo dos valores obtidos para os dois primeiros grupamentos, os mesmos que utilizaram maior número de amostras, quase que a totalidade de perfis disponíveis na base de dados.

Embora os grupamentos solos e solos-biomas tenham envolvido quase todas as amostras disponíveis e se estendam por quase todo o território, sua deficiência está em não considerar na análise os diferentes usos do solo.

Embora a informação do uso do solo seja de grande importância para a estimativa do estoque de carbono dos solos, o grupamento que utilizou essa informação teve disponível um menor número de amostras e representou uma área menor do território nacional.

A estimativas de estoque de carbono obtidas considerando os três grupamentos apresentam valores próximos entre si e próximos à estimativa obtida por Bernoux et al. [2001]. Porém uma análise mais detalhada dos resultados mostra que a base de dados

disponível apresenta lacunas que impedem a estimativa robusta do estoque de carbono dos solos do Brasil considerando a distribuição das classes de solos em todos os biomas do território nacional e os diferentes tipos de uso do solo.

A formação de um banco de dados de solos a nível nacional e a adição de novos perfis, prioritariamente nas regiões aonde se tem deficiência de informação, permitirá uma avaliação mais precisa dos estoques de carbono no Brasil. Além dos dados de carbono o banco de dados utilizado neste trabalho apresenta outras variáveis de solos que podem ser utilizadas para estimativas dos fatores de emissão, juntamente com variáveis climáticas, permitindo o uso dessa base para estudos de modelagem de diferentes cenários.

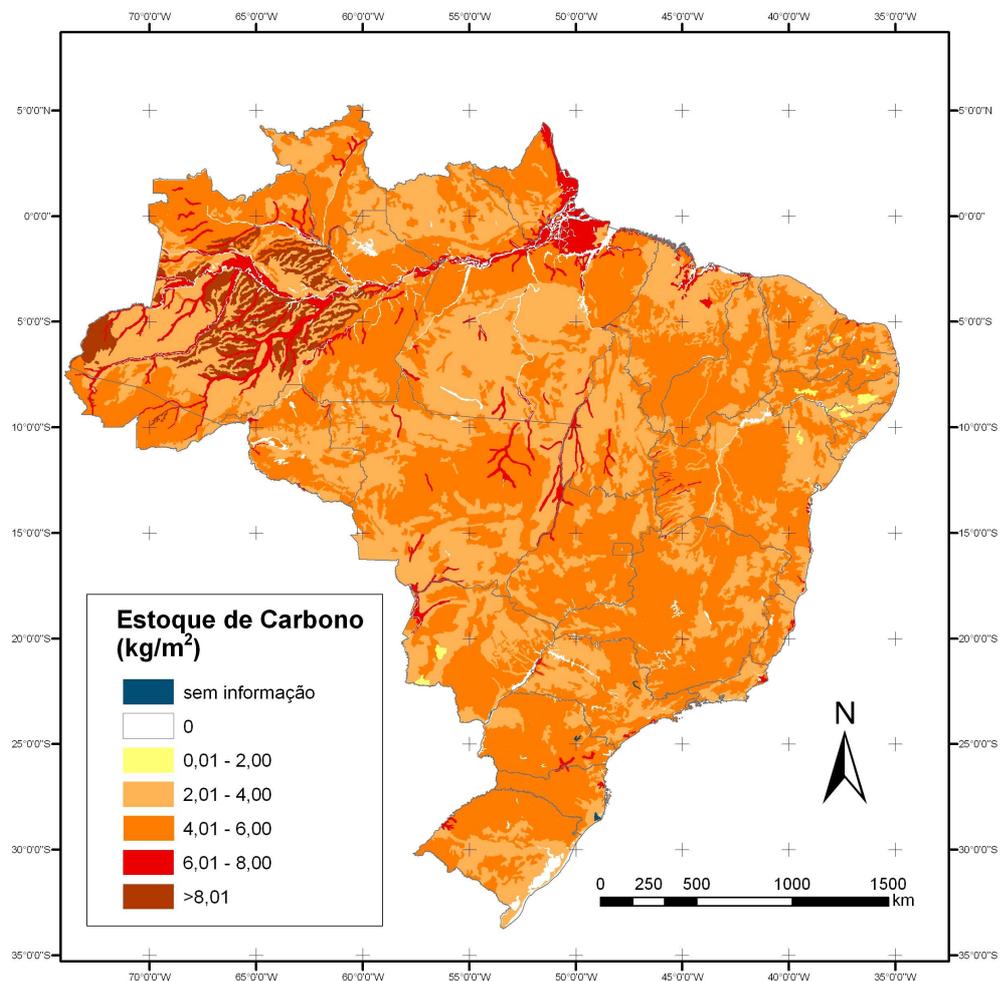
## Referências

- [1] IPCC. 2001. *Climate Change 2001: synthesis report*. Third assessment report of the Intergovernmental Panel On Climate Change. Cambridge University Press.
- [2] IPCC/UNEP/OECD/IEA. 1997 *Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference Manual*. Paris.
- [3] BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. 2001. CO<sub>2</sub> emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. *Global Change Biology*, 7: 779-787.
- [4] CHAGAS, C.S.; CARVALHO JUNIOR, W.; BHERING, S.B.; TANAKA, A.K.; BACA, J.F.M. 2004. Estrutura e Organização do Sistema de Informações Georreferenciadas de Solos do Brasil (SIGSOLOS – Versão 1.0). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 865-876.
- [5] BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; FIDALGO, E.C.C.; COELHO, M.R.; MADARI, B.E. 2007. Pedotransfer functions for estimating bulk density of Brazilian soils. *Geoderma*, 139:90-97.
- [6] IBGE. 2001 [Online]. *Mapa de Solos do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE. Mapa colorido, escala 1:5000000. Homepage: <http://www.ibge.gov.br>.
- [7] IBGE. 2004. *Mapa de Vegetação do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE. Mapa colorido, escala 1:5000000.
- [8] IBGE. 2004. *Mapa de Biomas do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE. Mapa colorido, escala 1:5000000. Homepage: [ftp://ftp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/mapas\\_murais/](ftp://ftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_murais/).
- [9] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação. 412p.

**Tabela 1.** Média de carbono em  $\text{kg.m}^{-2}$  (C), tamanho da amostra (n), desvio padrão (s), área, estoque de carbono estimado e produto do desvio padrão pela área de cada classe de solo.

Classe solo	C	n	s	área ( $\text{km}^2$ )	estoque C ( $10^9$ t)	s . área ( $10^9$ t)
Alissolo	8,48	2	1,75	245403,65	2,08	0,43
Argissolo	3,79	383	1,91	2028094,42	7,68	3,86
Cambissolo	5,50	125	2,61	446548,31	2,46	1,16
Chernossolo	4,70	3	1,39	37206,21	0,17	0,05
Espodossolo	4,12	6	3,75	167506,36	0,69	0,63
Gleissolo	6,60	75	3,67	398901,32	2,63	1,46
Latossolo	4,18	608	1,59	2678307,88	11,21	4,27
Luvissolo	5,39	56	2,72	241910,49	1,30	0,66
Neossolo Flúvico	3,65	76	1,70	25268,03	0,09	0,04
Neossolo Litólico	5,62	80	3,36	615747,78	3,46	2,07
Neossolo Quartzarênico	3,03	46	2,88	477914,96	1,45	1,38
Neossolo Regolítico	1,26	3	0,31	18842,11	0,02	0,01
Nitossolo	5,50	118	2,07	96533,45	0,53	0,20
Planossolo	2,27	50	1,34	170560,48	0,39	0,23
Planossolo hidromórfico	3,22	2	0,32	56002,14	0,18	0,02
Plintossolo	3,67	64	2,05	588448,88	2,16	1,21
Vertissolo	5,00	15	2,68	17631,17	0,09	0,05
<b>TOTAIS</b>		<b>1712</b>		<b>8310827,65</b>	<b>36,59</b>	<b>17,72</b>

## Estoque de Carbono dos Solos do Brasil (Solo)



**Figura 1.** Estimativa do estoque de C considerando os diferentes tipos de solos do Brasil.

**Tabela 2.** Número de amostras (n), área que eles representam no mapa e o estoque total de carbono estimado em Pg (C), para os quatro grupamentos criados e considerando todas as amostras da base de solos.

	Grupamento			todas as amostras
	solo	bioma-solo	bioma- solo-uso do solo	
n	1712	1700	752	1764
área	8310827,65	7790563,93	6546071,59	8313058,99
C	36,60	36,30	34,65	36,41