Estoques de carbono e estimativas de valoração dos serviços de carbono nos horizontes superficiais de solos

Mathilde Aparecida Bertoldo [1]
Mário Valério Filhos [1]
Akenia Freire de Alkimim [2]

[1]Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP
Av. Shishima Hifumi, 2911 – 12244-000 - São José dos Campos – SP - Brasil.
ma_ra_ga@yahoo.com.br
mvalerio@univap.br

[2]Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós – ESALQ/USP
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil.
akenyaalkimim@yahoo.com.br

Abstrat - Carbon stocks and valuation estimates of carbon services in surface soil horizons. The objective of the present study was to evaluate the use of the geomorphopedologic model of the digital map of soil. This in order to obtain a digital cartographic base estimation of carbon stocks in surface horizons of soil units, and assign value to the carbon inventory service provided by different classes of soil in the region of Três Pontas, south of Minas Gerais State in Brazil, an area under the influence of the Furnas Reservoir. Density and soil carbon stocks were calculated from data of organic matter of the profiles sampled and the carbon found by Brazil (1962). The Red dystrophic humic Latossols presented the greatest potential for carbon sequestration in the order of 19.98 kg m^{-2}. The estimated values of organic carbon stocked services ranged from US $ 5.00 ha-1 in Yellow Red Argissolos with the presence of stones in the profile, to $ 1,998 .00 ha-1 in Red dystrophic humic Latossols. Digital soil mapping carried out in the SPRING software, proved efficient for the generation of the carbon inventory map and valuation estimate of carbon stocked services. The data obtained are considered the basis for the adoption of effective practices aiming the carbon sequestration by soils.

Palavras-chave: modeling, soil, organic carbon, modelagem, solos, carbono orgânico.

1. Introdução

Os estudos voltados para o conhecimento de estoques de carbono em solos têm sido realizados com o objetivo de se conhecer as condições do solo como armazenador de carbono como subsidio aos levantamentos dos conteúdos de carbono orgânico seqüestrados nos ecossistemas terrestres, levando em conta que em escala geológica, as trocas de CO2 entre a atmosfera e os solos são rápidas (Lorenz et al., 2007). Há também um interesse crescente de achar formas de aumentar a retenção de carbono nos solos pelo conhecimento de suas reservas de carbono em seu ciclo terrestre, embora as estimativas sobre sua capacidade de retenção de carbono variem muito (Guedes, 2008).

As estimativas de estoque de carbono orgânico nos solos do mundo variam de 1500 a 2300 Pg, dependendo da profundidade considerada (Smith et al., 2007). As mudanças de uso da terra de 1850 a 1998, na qual se considera basicamente o desmatamento para implantação da agricultura, tenha sido as principais responsáveis pela emissão líquida de 136 ± 55 Pg de carbono para a atmosfera (Lal, 2004), tanto pela decomposição de restos vegetais quanto pela mineralização/oxidação da matéria orgânica do solo (MOS).

O solo pode ser uma fonte ou um sumidouro de gases de efeito estufa, dependendo do seu uso. Para a absorção em longo prazo, o carbono orgânico deve ser armazenado em solos de pouca rotatividade de uso, pois suas propriedades químicas e físicas ajudam a determinar a informação específica sobre seu comportamento como filtro de águas residuais, habitat de organismos vivos, local para construções ou sumidouro de carbono. Com isso quanto mais

informação tivermos sobre as propriedades do solo, melhor poderemos avaliar a qualidade de seus recursos naturais e seu potencial para produzir alimentos.

Os solos estocam globalmente no mínimo três vezes mais carbono do que a biomassa vegetal, sob a forma de matéria orgânica do solo, além de estar armazenada em maior quantidade, a matéria orgânica do solo pode ser mais resistente à ação decompositora de microrganismos, principalmente quando em horizontes mais profundos (Guedes, 2008).

A partir dessa premissa a FAO produziu um mapa mundial de estoque de carbono orgânico no solo - *Carbon Gap Map* (FAO, 2007), que permite identificar no planeta a capacidade de armazenamento de carbono nas unidades de solos a nível exploratório, e também indica o potencial dos solos degradados para fixar bilhões de toneladas adicionais de carbono.

De acordo com a FAO (FAO, 2007), a informação sobre mapeamentos de solos disponíveis para um planejamento de recursos naturais a nível regional é escassa, o que dificulta a previsão da capacidade da produção de alimentos, assim como o potencial dos solos para fixar carbono e atuar como sumidouros.

As unidades de solos presentes numa região têm capacidades distintas de atuar como armazenadores de carbono, o que tem uma implicação direta na captura dos gases de efeito estufa, com isso há um interesse em desenvolver metodologias para avaliar o estoque de carbono no solo em escalas regionais.

A geotecnologia tem sido cada vez mais utilizada para estudos e levantamentos dos recursos naturais, em função das vantagens que oferecem as técnicas de imageamento colocadas à disposição dos usuários, possibilitando resultados com redução de custos e maior agilidade.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a aplicação do modelo geomorfopedológico do mapa digital em nível de semidetalhe de solos (Bertoldo, 2008), para obtenção de uma base cartográfica digital para estimar os estoques de carbono nos horizontes superficiais das unidades de solos, e valorar o serviço de estoque de carbono prestado pelos solos estudados.

2. Metodologia de Trabalho

A área selecionada para o presente estudo situa-se na região sudeste do país, no sul do estado de Minas Gerais, onde a cultura do cafeeiro responde por 70% da renda agrícola (Três Pontas, 2005), compondo a folha topográfica do IBGE SF-23-I-I-4, denominada Três Pontas, localizada entre as coordenadas geográficas 21°15’ a 21°30’ de latitude Sul e 45°30’ a 45°45’ de longitude Oeste, fuso 23, na escala 1:50000, com área total de 720 km² e altitude variando de 700 m a 1.150 m.

A localização geográfica da região é considerada um fator preponderante para o desenvolvimento da cultura cafeeira com relevo predominante de topografia ondulada com altitude média de 905 m. A região faz parte da bacia hidrográfica do rio Grande, envolvendo uma porção das terras alagadas pela represa de Furnas. O clima Cwa, segundo a classificação de Köppen, é ameno, tropical de altitude, com temperaturas moderadas, verão quente e chuvoso. A temperatura média anual é de 21,20 C; a média anual máxima é de 27 C e a média mínima anual de 14,20 C, com índice pluviométrico médio anual de 1.300 mm.

De acordo com Pedrosa-Soares et al. (1994), a unidade geológica predominante é do Proterozóico, denominada Seqüência Varginha-Guaxupé-p□vg , constituído por:

A unidade geomorfológica que predomina na região de estudo é a Depressão do Rio Grande, amplo compartimento rebaixado de relevo desenvolvido ao longo da drenagem do rio Grande, que ocupa grandes extensões no sul de Minas Gerais e pequena parte do Triângulo Mineiro (CETEC, 1983).

A vegetação descrita de acordo com o Mapa de Cobertura Vegetal e Uso do Solo do Estado de Minas Gerais (IEF, 1994) apresenta a predominância das seguintes classes na região de estudo: tratos antrópicos, agropecuária, áreas com agricultura cíclica, permanente e pastagem; cobertura vegetal natural – floresta estacional semidecidual, inclui o domínio da mata Atlântica, abrangendo agrupamentos florestais úmidos e estacionários semideciduais; savana parque - vegetação gramínea lenhosa baixa e campo de cerrado.

Foi utilizado o *software* SPRING - Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas, gerenciador de dados, versão 4.2., para Windows (Câmara et al., 1996), para criar um banco de dados digitais para o processamento dos dados, digitalização dos temas enfocados, modelagem dos dados e análise espacial. Todos os processamentos executado no SPRING exigiu uma seqüência de procedimentos lógicos e os principais passos foram a definição de um banco de dados, do projeto, de categorias e planos de informação**.** O mapa digital de solos utilizado para caracterização estimar os estoques de carbono nos horizontes superficiais das unidades de solos foi de Bertoldo (2008), nível de semidetalhe, escala 1:50.000.

O desenvolvimento do estudo foi conduzido a partir das metodologias utilizadas por Bertoldo (2008), Guedes (2008) e Mello (2007).

Pelo módulo Análise/LEGAL do *software* SPRING, foi gerado, a partir dos os resultados obtidos do estoque de carbono, o mapa digital de estoque de carbono regional.

O estoque de carbono dos solos foi calculado a partir dos dados de teor de carbono orgânico dos horizontes superficiais, seguindo metodologias de Guedes (2008) e Mello (2007), utilizando-se as densidades do solo e concentração de carbono orgânico de acordo com Bertoldo (2008).

O cálculo do estoque de carbono para o horizonte superficial foi obtido utilizando-se a seguinte expressão:

$$E = d \times h \times (C)$$

Onde,
E - estoque total de carbono orgânico (Kg m^{-2}) até determinada profundidade;
d - densidade do solo ($g.m^{-3}$) do horizonte;
h - espessura (cm) do horizonte correspondente;
C - corresponde à concentração de carbono orgânico (g kg^{-1}) no horizonte.

Nas unidades de solos representadas por associações, a estimativa dos valores de serviços de seqüestro de carbono foi calculada considerando o valor médio das unidades presentes.

O mapa digital de estoque de carbono foi obtido de acordo com os intervalos propostos pela FAO (2007), Tabela 1.

Tabela 1. Intervalos das classes de estoque de carbono proposto pela FAO (2007), para obtenção do *Soil Gap Map*.

Estoque de carbono	Kgm^{-2}
muito baixo	<3,6
baixo	3,6 a 7,5
moderado	7,5 a 15
alto	15 a 35
muito alto	>35

Fonte: FAO (2007)

O Programa em LEGAL para reclassificação do mapa de solos da região de Três Pontas MG para obtenção do mapa de estoque de carbono na região de estudo é apresentado a seguir:

```
{
// inicio do programa
// Declarações
Tematico Solos2 ("solos50");
Tematico classes ("tematicoFB");
Tabela tabReclass(Reclassificacao);
// Instanciações
tabReclass = Novo (CategoriaIni = "solos50",
            CategoriaFim = "tematicoFB",
        "LVd+LVAd" : " muito baixo" ,
        " PVAe " : "baixo",
        " PVAe1" :  "muito baixo" ,
        " LVd " : " muito baixo ",
        " NVd+PVd " : " muito baixo " ,
        " RLe " : " muito baixo " ,
        " CXbd+CXa " : " muito baixo ",
        " OXy+GXbd+RUbd " : " muito baixo ",
        " NVe+PVAe " : "baixo" ,
        " LVd (hu) " : "alto");
Solos2 = Recupere(Nome = "Solos2");
classes = Novo (Nome = "classes",
            ResX = 15, ResY = 15, Escala = 50000);
// Operação
classes = Reclassifique (Solos2,tabReclass);
// Final de programa
}
```

De acordo com Havstad et al. (2007), a maior parte das estimativas de preço para valoração de serviços de seqüestro de carbono no solo situa-se abaixo de US$10,00 por megagrama de carbono. Para facilitar os cálculos sem, no entanto se distanciar dos valores de mercado atuais, resolveu-se assumir um valor de US$10,00 g de carbono.

3. Resultados e Discussão

Na área de estudo de acordo com Bertoldo (2008) observa-se que 67% da área é ocupada pela associação dos Latossolos representada pelos Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos, seguida pelas classes representativas de solos com horizonte B textural com uma área de ocupação de 30% com Nitossolos Vermelhos e Nitossolos Háplicos; Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelhos. Os Cambissolos Háplicos e a associação dos Neossolos Flúvicos+Organossolos+Gleissolos e Neossolos Litólicos representam menores áreas de ocorrência. Os Latossolos Vermelhos Distróficos típicos (LVd) com horizonte A húmico e com horizonte A moderado e os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos ocupam áreas com aspecto uniforme, bastante extensas e nem sempre contínuas.

Os dados relativos ao estoque de carbono dos solos levaram em consideração a profundidade dos horizontes superficiais dos perfis analisados na base de dados (Tabela 2).

Tabela 2. Profundidade dos horizontes superficiais e respectivos estoque de carbono.

Solos	Profundidade (m)	Estoque de Carbono $kg.m^2$
PVd	0,07	0,18
LVd	0,25	1,04
GXbd	0,10	1,65
OXy	0,10	2,34
RUbd	0,20	1,97
RLe	0,15	0,94
LVAd	0,08	0,30
PVAe1	0,10	0,05
LVd(hu)	1,10	19,98
NVe	0,25	6,84
PVAe	0,26	4,71
CXa	0,20	2,83
NXd	0,50	9,43
NVd	0,28	3,14
CXbd	0,15	3,73

A partir dos teores de carbono orgânico nos horizontes superficiais estimou-se o estoque de Carbono para a região de estudo (Tabela 3 e Figura 1). Nas áreas onde não houve condições de individualização das unidades de solos foram feitas associações, e o estoque de carbono foi obtido pela média do valor do carbono orgânico das unidades presentes.

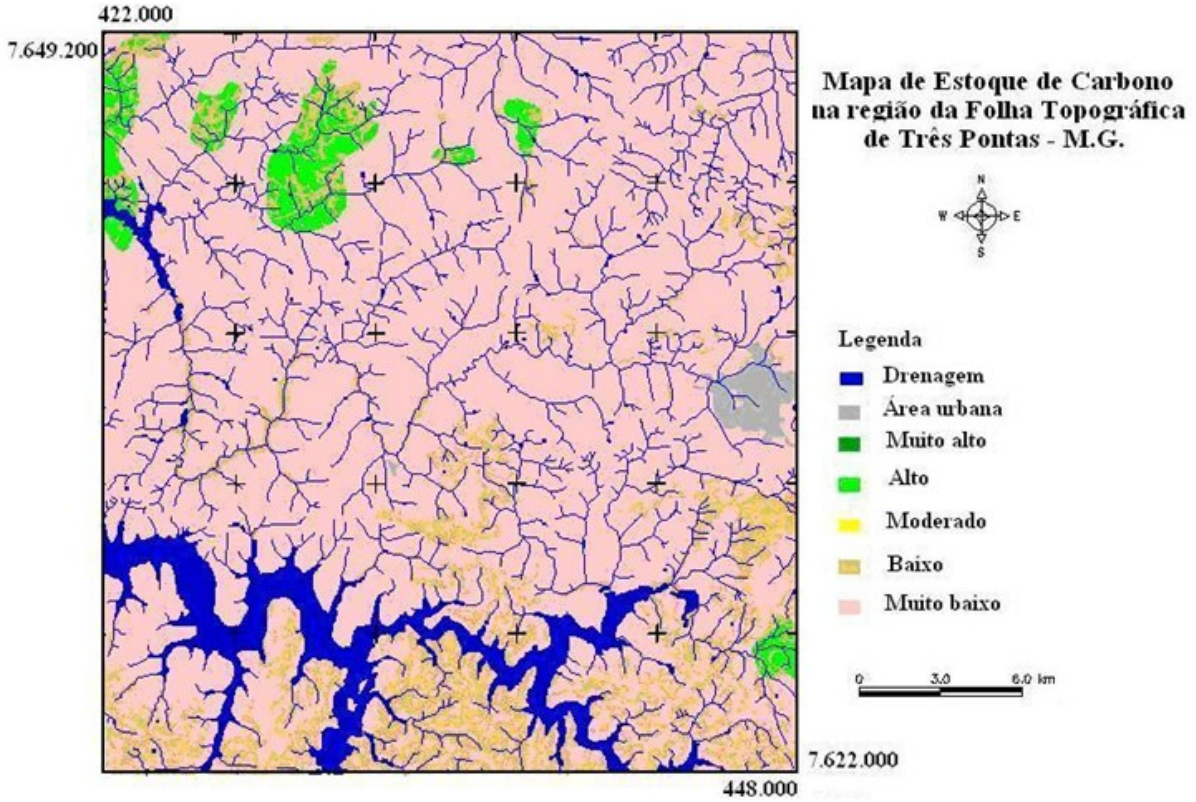

Figura 1. Mapa de Estoque de carbono da área de estudo. Folha de Três Pontas (MG).

Tabela 3. Estoque de carbono orgânico encontrado nas unidades de solos presentes na região.

Unidades de solos	Estoque de Carbono (– $kg.m^{-2}$)
LVd+ LVAd	0,67
PVAe	4,71
PVAe1	0,05
LVd	1,04
NVd+PVd	1,66
RLe	0,94
CXbd+CXa	3,28
OXy+GXbd+RUbd	1,99
NVe+PVAe	3,74
LVd (hu)	19,98

As unidades de solos que apresentaram maiores estoque de carbono orgânico foi o Latossolo Vermelho distrófico húmico, seguido do Argissolo Vermelho-Amarelo e pela associação dos Nitossolos Vermelhos eutróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos, e os menores estoques de carbono orgânico foi observado no Argissolos Vermelho-Amarelo eutrófico como presença de pedras no perfil.

Os valores estimados de serviços de carbono estocado nas principais unidades de mapeamento ($Mg.ha^{-1}$), são apresentados na Tabela 4. Os maiores valores de serviço de estoque de carbono foram obtidos nos Latossolos Vermelhos distróficos húmicos, certamente em conseqüência da profundidade do horizonte A húmico e pela alto teor de matéria orgânica neles presentes.

Tabela 4. Valores estimados de serviços de carbono estocado nas principais unidades de mapeamento na região de estudo - Mg/ha.

Unidades de solos	Estimativa de estoque de carbono ($Mg.ha^{-1}$)	Valores estimados de serviços de carbono US$
LVd+ LVAd	6,72	67,17
PVAe	47,10	471,00
PVAe1	0,50	5,00
LVd	10,40	104,00
NVd+PVd	16,62	166,22
RLe	9,40	94,00
CXbd+CXa	32,80	328,02
OXy+GXbd+RUbd	19,86	198,65
NVe+PVAe	37,36	373,59
LVd (hu)	199,80	1.998,00

4. Conclusões

A aplicação da geotecnologia mostrou-se eficiente para a geração do mapa de estoque de carbono. O que demonstra a contribuição desse tipo de ferramenta para a estimativa de valoração dos serviços de carbono estocado nos solos. A adoção desse tipo de técnica favorece práticas eficientes de manejo agrícola cujo objetivo se pauta no seqüestro de carbono nos solos.

Agradecimentos

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisas e Desenvolvimento do Café-CBP&CAFÉ, e ao Laboratório de Geoprocessamento da Empresa de Pesquisas Agropecuárias de Minas Gerais-EPAMIG, pela disponibilização dos recursos financeiros e logísticos para desenvolvimento do estudo.

Referencia Bibliográfica

Bertoldo, M.A. **Caracterização edafoambiental da cafeicultura na região de Três Pontas, Minas Gerais.** 2008. 144 p.il. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras–UFLA. Lavras, 2008.

Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, V. M.; Garrido, I.; Mitsuo, F. SPRING: Integratting remote sensing and GIS by object-orientes data modelling. **Computers & Graphics**, v.20, n.3, p. 395-403, May-June1996.

CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Diagnóstico Ambiental do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CETEC, v.1 (Série de publicações técnicas, n. 10). 1983. 160p.

FAO - Food and Agriculture Organization of The United Nations**. The State of Food and Agriculture - Paying Farmers for Environmental Services.** Roma. 2007. 240p.

Guedes, I. M. R. Geoambientes, **Estoques de carbono e termodegradação da matéria orgânica de solos da área de proteção ambiental Estadual Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais**. UFV, Viçosa. 74p (tese de doutorado).

Havstad, K. M.; Peters, D. P. C.; Skaggs, R.; Brown, J.; Bestelmeyer, B.; Fredrickson, E.; Herrick, J.; Wright, J. Ecological services to and from rangelands of the United States. **Ecological Economics**, 64: 261-268, 2007.

IEF - Instituto Estadual de Floresta. **Cobertura vegetal e uso do solo do estado de Minas Gerais**. 1994. Disponível em: <www.ief.mg.gov.br>. Acesso em: 12 maio 2004.

Lal, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, 123:1-22, 2004.

Lorenz, K.; Lal, R.; Preston, C. M.; Nierop, K. G. J. Strengthening the soil organic carbon pool by increasing contributions from recalcitrant aliphatic bio (macro) molecules. **Geoderma**, 142:1-10, 2007.

Mello, F. F. de C. **Estimativas do estoque de carbono nos solos nos estados de Rondônia e Mato Grosso, anteriores a intervenção antrópica**. ESALQ, Piracicaba. 2 007. 89p. (dissertação mestrado).

Pedrosa-Soares, A. C.; Dardene, M. A.; Hasui, Y.;Castro,F. D. C. de; Carvalho, M. V. A. de **Nota explicativa dos mapas geológicos, metalogenético, e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais**. Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte: COMIG - Companhia Mineradora de minas Gerais. 1994. 97p.

Smith, P.; Martino, D.; Cai, Z.; Gwary, D.; Janzen, H.; Kumar, P.; McCarl, B.; Ogle, S.; O'Mara, F.; Rice, C.; Scholes, B.; Sirotenko, O.; Agriculture. **In**: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

Três Pontas. **Três Pontas**. Disponível em: <htt://pt.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%AAs_Pontas>. Acesso em: 6 maio 2007.