

Análise de superfície de tendência de variáveis de solo como subsídio ao planejamento ambiental de uma bacia hidrográfica rural

Luiz Augusto Manfré¹
Rodrigo Custódio Urban¹
Alexandre Marco da Silva¹

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/Campus Sorocaba
Avenida Três de Março, 511 - 18087-180 - Sorocaba - SP, Brasil
luizmanfre@yahoo.com.br; rodrigo.urban@yahoo.com.br; amsilva@sorocaba.unesp.br

Abstract. Natural porosity, carbon percentage and electric conductivity are important soil attributes, which describes the fertility and erosion potential of studied areas. The knowledge of the spatial distribution of soil attributes is a way to subsidize the environmental planning, guiding the land use that fits to each specific area. This work had the aim to generate trend surfaces for the natural porosity, carbon percentage and electric conductivity for soils of the High Sorocaba watershed, Ibiúna (SP). Were collected ten soil samples of each land cover found in the watershed (pasture, exposure soil, reforestation, native vegetation and cultivation), totaling fifty samples. The carbon amount was quantified using the Shimadzu analyzer, soil electric conductivity was measured with the electrodes and porosity was obtained by the rate of apparent and real densities. With the soil attribute values, the trend surfaces and the respective residuals map for natural porosity, electric conductivity and carbon percentage were generated. The results showed the increase trend for each soil attribute, and also showed the outliers. Thus, it was possible to analyze the best regions in the watershed for the agricultural handling, and the areas that should be protected to avoid the accelerated erosion process. This paper provides an important tool for the environmental planning, indicating regional trends and evidencing areas that must have a caution soil handling.

Palavras-chave: soil quality, spatial analysis, watershed management, use and land cover, qualidade do solo, análise espacial, manejo de bacias hidrográficas, uso e ocupação do solo.

1. Introdução

Os solos são muito diversificados em sua composição e características físicas, químicas, hidráulicas e biológicas. Esse sistema é composto por partículas minerais de vários tamanhos e formatos, matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição, raízes, artrópodes e microorganismos, além de uma fração fluída, mais notadamente água e gases (YARON et al., 1996).

Um importante parâmetro de alteração das propriedades físico-hídricas do solo é a compactação, que promove a redução do espaço poroso (KLEIN e LIBARDI, 2002) e da permeabilidade, além de aumentar a resistência e proporcionar outras mudanças na estrutura do solo (SOANE e OUWERKERK, 1994).

A condutividade elétrica é a habilidade que um material tem de transmitir (conduzir) corrente elétrica. O solo pode conduzir corrente elétrica por meio da água intersticial, que contém eletrólitos dissolvidos, assim como por cátions trocáveis que residem perto da superfície de partículas de solo carregadas e são eletricamente móveis em vários níveis (CASTRO e MOLIN, 2006). Como o potencial osmótico é um componente do potencial total da água do solo e reconhecendo que as plantas são sensíveis a níveis elevados de salinidade (> 3 dS/m), esse atributo tem sido usado também para caracterizar substratos (TAVARES et al., 2008).

Um dos principais agentes de agregação do solo é o carbono orgânico, que influencia na estrutura de componentes orgânicos e inorgânicos, interagindo com cátions e outras relações (Bronik e Lal, 2004).

O planejamento para o uso adequado do solo é uma das alternativas para minimizar os impactos causados pela ocupação antrópica. Além disso, existem técnicas de cultivo, como a agricultura orgânica, que proporcionam condições de recuperação dos solos e geram impactos

menores, sem comprometer a qualidade química e biológica dos recursos naturais (água e solo).

De acordo com Bernardi et al. (2001) a análise de superfícies de tendência pode ser uma ferramenta muito útil para a avaliação de impactos ambientais decorrentes da ação antrópica. Pois, além de apresentar tendências de âmbito regional são capazes de ressaltar anomalias localizadas. Considerando-se que as relações encontradas na natureza são gradativas, os valores de uma variável podem ser parcialmente previstos por pontos vizinhos, sendo dependentes entre si.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi gerar subsídios ao planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, por meio da elaboração de superfícies de tendência para a variação da porosidade natural, percentual de carbono e condutividade elétrica dos solos.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu, município de Ibiúna – SP (Figura 1). O município de Ibiúna ($23^{\circ}39'23''S$, $47^{\circ}13'21''W$) possui população predominantemente rural, sendo que, de acordo com os dados da Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo e a fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008) o município possui 77.985 habitantes, sendo 66,4% deles residentes na zona rural.

A bacia hidrográfica está inserida na Serra de Paranapiacaba, cujo clima é predominantemente temperado quente e úmido, de acordo com Köppen (1948). A temperatura média anual é $19,3^{\circ}C$ e a altura pluviométrica anual é 1.428 mm (EMBRAPA, 2003).



Figura 1. Localização do município de Ibiúna no Estado de São Paulo e da bacia hidrográfica do Alto rio Sorocabaçu no município de Ibiúna.

2.2. Análise dos atributos de solo

Para a determinação do percentual de carbono, condutividade elétrica e da porosidade natural dos solos da área de estudo, foram coletadas amostras indeformadas da camada de 0-20 cm, como em Amaral et al. (2004). Foi realizada amostragem estratificada, referentes aos cinco estratos de cobertura de solo identificados na bacia hidrográfica (cultivo temporário,

vegetação, reflorestamento de pinus e eucalipto, pastagem e solo exposto). Desta forma, determinou-se 10 amostras para cada cobertura de solo, totalizando 50 amostras.

As amostras foram coletadas com auxílio de cilindro de metal e embaladas no campo. Para a realização das análises, todas as amostras foram completamente secas em estufa a 80° C.

Determinou-se a densidade aparente pelo método do anel volumétrico, seguindo metodologia adaptada de Santos et al. (2005). A densidade real foi determinada pelo método do balão volumétrico, adaptado de Embrapa (1997). Com isso, calculou-se a porosidade a partir da Equação 1 (Vieira, 1988):

$$Pnat = 100 - \left[\left(\frac{Da}{Dr} \right) \times 100 \right] \quad (1)$$

Onde,

Pnat é a porosidade.

Da é a densidade aparente.

Dr é a densidade real.

As determinações da condutividade elétrica nas amostras de solo foram efetuadas em extrato solo-água na proporção 1:1 (volume) em condutímetro com célula de 1 cm, como em Oliveira et al. (2002).

Os teores de carbono foram realizados no Centro e Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), em Piracicaba-SP, seguindo metodologia utilizada por Nogueira et al. (2005). Após a pesagem em balança analítica, utilizou-se o analisador Shimadzu, modelo TOC 5000 A, Além disso, foi calculada a relação Carbono-Nitrogênio.

2.3. Análise Espacial

Os dados tabulados, contendo a informação geográfica no sistema de coordenadas UTM, e importados no programa de análise geoestatística Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002), que permitiu a análise da variância espacial dos dados, com vistas a subsidiar a análise da distribuição espacial de cada atributo do solo estudado. Foram gerados variogramas, para cada atributo, que evidenciaram o grau de dependência espacial entre as amostras. Os resultados obtidos nos variogramas foram analisados de acordo com Landim (2003), avaliando-se a viabilidade de aplicação do método geoestatístico “krigagem” de interpolação, ou a utilização de superfícies de tendências por meio de regressões polinomiais de primeira ordem. A aplicação do método geoestatístico exige a elaboração do mapa de desvio-padrão, para a análise da precisão da interpolação.

Por sua vez, as superfícies de tendências exigem a análise de seus resíduos, que são as diferenças entre os dados e o modelo de tendência criado. Para a elaboração dos mapas de resíduos, são calculadas as diferenças, com a ferramenta *Residual* do programa Surfer 8.0. As interpolações são realizadas utilizando-se os valores residuais, pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD).

3. Resultados e Discussão

Todos os atributos de solo foram submetidos a testes de correlação espacial a partir de variogramas. A análise mostrou que não há correlação espacial para nenhum dos atributos, uma vez que, todos apresentaram o chamado “efeito-pepita puro”, que, de acordo com Landim (2003) indica ausência de correlação espacial entre os dados. Desta forma, não é possível aplicar o método geoestatístico, ou da “krigagem” para os dados.

A baixa correlação espacial encontrada entre os atributos de solo pode estar ligada à grande fragmentação da paisagem e aos muitos usos do solo, que são fundamentais para condicionar

as variações de qualidade dos solos. Além disso, para se obter correlação espacial é necessário que a malha amostral seja muito bem distribuída, porém, no estudo de uma bacia hidrográfica de ordem cinco, com uso de solo tão diversificado, esse processo é bastante dificultado.

Assim, a análise da variação espacial dos dados foi realizada com a elaboração de superfícies de tendência. A Figura 2 mostra a tendência de variação do percentual de carbono, que apresenta aumento na direção Noroeste → Sudoeste. O que pode estar relacionado com a maior concentração de áreas com vegetação nativa e reflorestamentos na região de cabeceira das bacias. Já a Figura 3 mostra os resíduos da superfície de tendência, indicando os pontos onde o modelo linear, expresso através da superfície de tendência está superestimado e subestimado. Destaca-se que todos os locais dos resíduos estão relacionados com os pontos de amostragem de solo. Encontra-se, muitos locais com resíduos positivos, o que indica que o modelo de ajuste linear subestimou o percentual de carbono do solo.

Desta forma, o modelo indica que os teores de carbono do solo diminuem com a aproximação das jusantes da bacia. Esse resultado pode subsidiar o planejamento de uso do solo, indicando que os solos mais próximos aos exutórios das bacias tendem a ser mais pobres em carbono, evidenciando maior atenção quanto às perdas de solo por erosão e à fertilidade do solo.

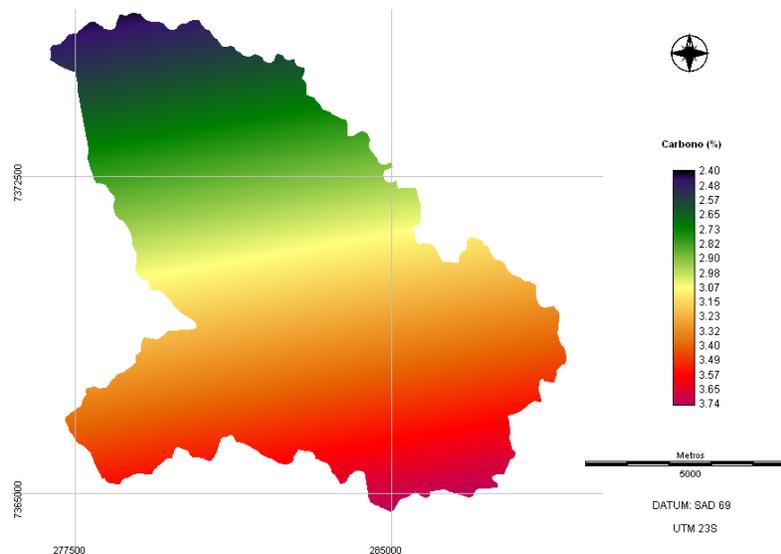


Figura 2. Superfície de tendência do Carbono (%) (B.H. Sorocabuçu).

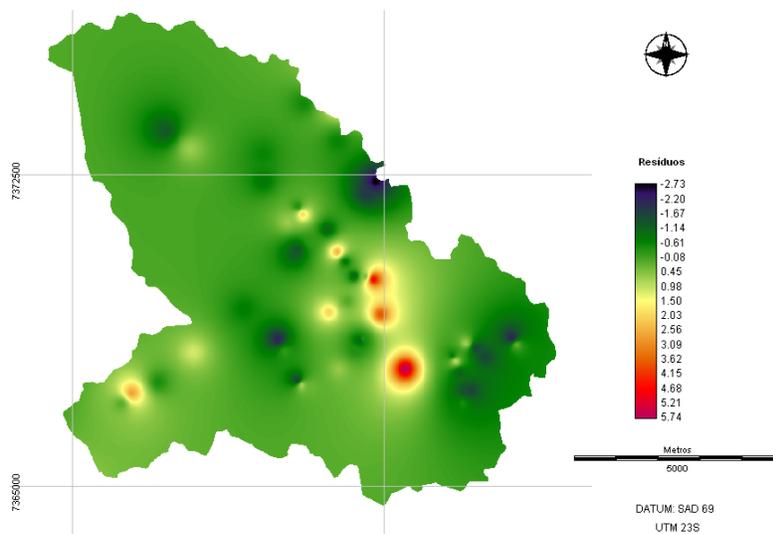


Figura 3. Mapa de resíduos da superfície de tendência de Carbono (B.H. Sorocabuçu).

A Figura 4 apresenta a superfície de tendência da condutividade elétrica para a bacia do rio Sorocabuçu, evidenciando aumento no sentido Nordeste→Sudoeste. Já a Figura 5 representa o mapa de resíduos, da superfície de tendência da condutividade elétrica. Nota-se ocorrência de resíduos de pouca intensidade, principalmente positivos. Desta forma, nota-se que o modelo subestimou os valores, principalmente a leste, local de concentração de ocupação antrópica, para a bacia do rio Sorocabuçu.

De acordo com Boeira et al. (2002), a condutividade elétrica serve como estimativa da capacidade de fornecimento de nutrientes, desta forma, as regiões Sudoeste das bacias hidrográficas possuem solos mais adequados para o cultivo.

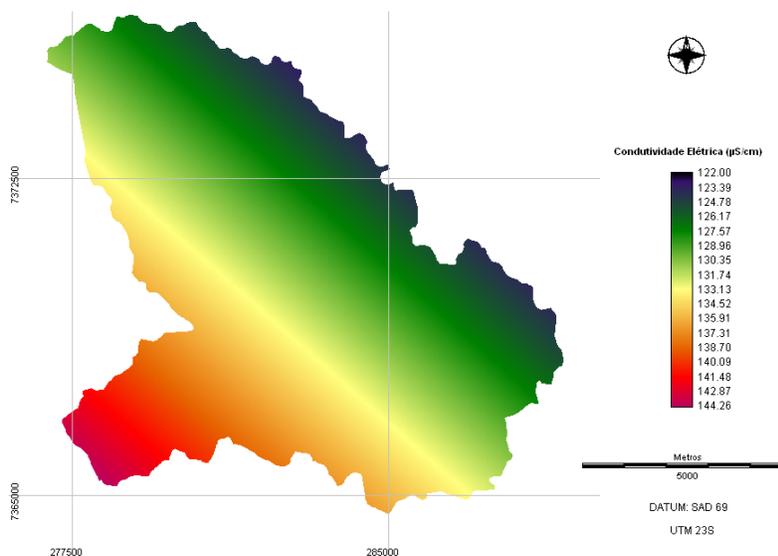


Figura 4. Superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Sorocabuçu).

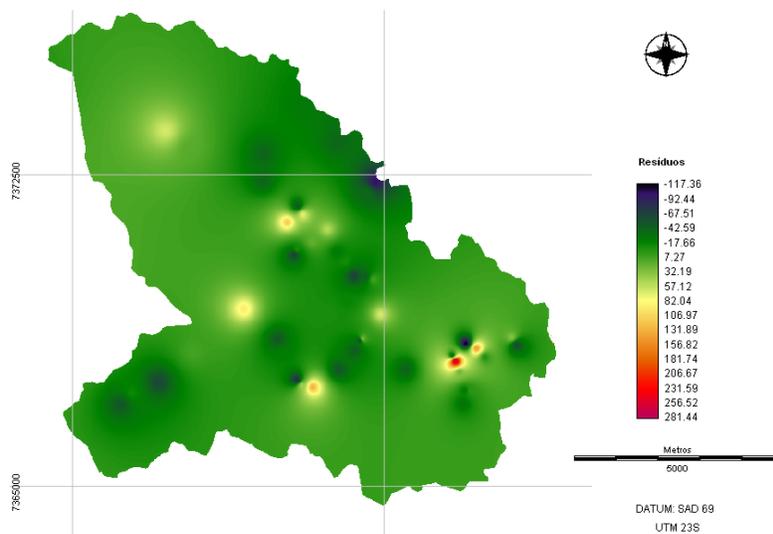


Figura 5. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Condutividade Elétrica (B.H. Sorocabuçu).

A Figura 6 apresenta a superfície de tendência da porosidade natural para a bacia do rio Sorocabuçu e a Figura 7, mostra o correspondente mapa de resíduos. Nota-se pela análise das Figuras 6, que há aumento nesse atributo no sentido Noroeste→Sudeste. O que pode ser explicado pela presença de vegetação nativa e reflorestamentos (usos do solo com maiores valores de porosidade) na região Sudeste.

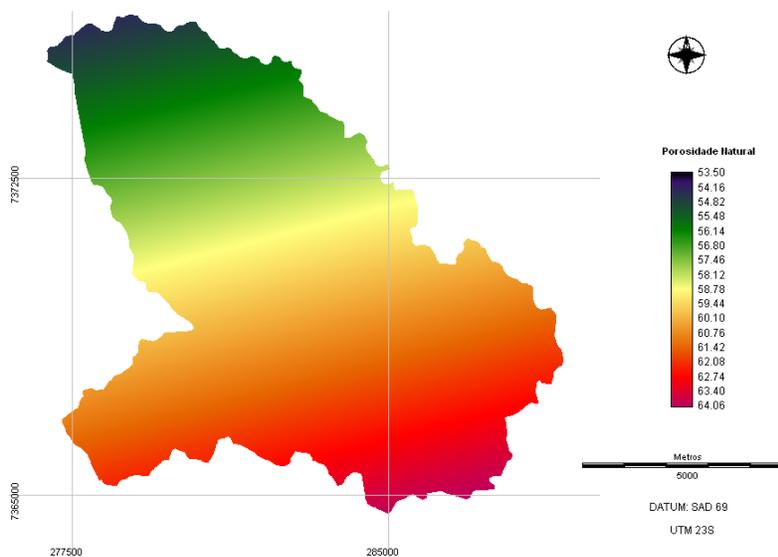


Figura 6. Superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Sorocabuçu).

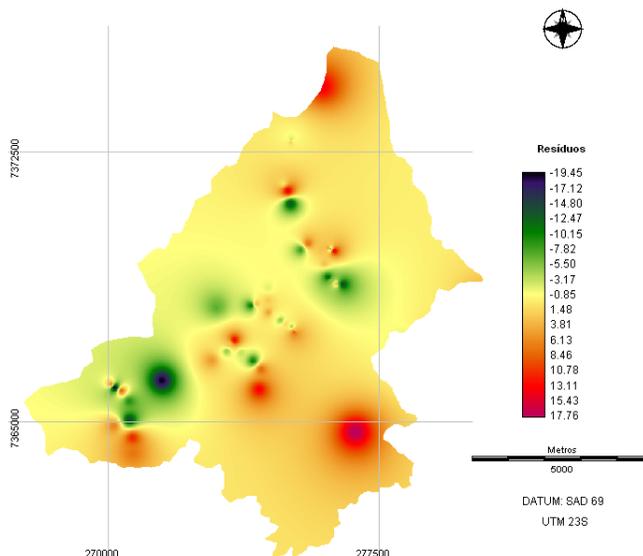


Figura 7. Mapa de resíduos da superfície de tendência da Porosidade Natural (B.H. Sorocabuçu).

A análise das superfícies de tendência dos atributos de solo indicou que todos os atributos aumentam na região Sul das bacias hidrográficas. O que pode ser decorrente da maior amostragem em solos dessa região. No entanto, os resultados apresentados são importantes para orientar as regiões das bacias que podem possuir atributos de solo que favorecem a ocorrência de processos erosivos, bem como, a indicação de regiões que possuem atributos que favorecem diferentes tipos de manejo de solo. Uma vez que, a bacia hidrográfica estudada possui área de mais de 80 km², é importante que se crie mecanismos de compreensão os fenômenos naturais, indicando as áreas prioritárias.

4. Conclusões

As análises de tendência espacial dos atributos dos solos na bacia hidrográfica proporcionaram resultados que indicam as regiões de maior e menor concentração de cada atributo do solo. Esses resultados são, também, muito importantes para o planejamento, pois, indicam áreas com solos de maior condutividade elétrica, onde o solo pode ser mais adequado ao cultivo. Além disso, há a indicação de áreas onde a porosidade do solo é maior, bem como, a região onde há maior percentual de carbono no solo, sendo importante para nortear em que sentido a ação dos processos erosivos se eleva.

Agradecimentos

À FAPESP, pela concessão das bolsas de mestrado (Processos nº 2009/02534-7 e nº 2009/02182-3) aos autores do trabalho.

Referências Bibliográficas

- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, Feb. 2004.
- BERNARDI, J.V.E.; FOWLER, H.G.; LANDIM, P.M.B. Um estudo de impacto ambiental usando análises estatísticas espacial e multivariada. **Holos Environment**, v. 2, n.1, 0. 162-172, 2001.
- BOEIRA, R.C.; LIGO, M.A.V.; DYNIA, J.F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodo de esgotos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, 2002.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, n. 124, p. 3-22, 2004.

- CASTRO, C.N; MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão: Condutividade Elétrica**. Grupo Cultivar Publicações, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Banco de Dados Climáticos do Brasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2003.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer 8**. Copyright © Golden Software Inc., 2002.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um LATOSSOLO ROXO, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fundo de Cultura Econômica, Ciudad del México, 1948.
- LANDIM, P.M.B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 254 p.
- NOGUEIRA, S.F.; CARMO, J.B.; MONTES, C.R.; VICTORIA, R.L.; RAVAGNANI, E.C.; BARUFALDI, R.O. Indicadores eco-fisiológicos da qualidade de um solo irrigado com esgoto tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, suplemento, 2005.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodos de esgoto em LATOSSOLO AMARELO distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, no. 26, pp. 505-519, 2002.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; Ker, J.C.; Anjos, L.M.C. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5. ed. Viçosa: Embrapa: 2005. 92 p.
- SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE). **Informação dos Municípios Paulistas (IMP)**. 2008.
- SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. Soil compaction problems in world agriculture. In: SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Elsevier, 1994. p. 01-21.
- TAVARES, S.R.L.; MELO, A.S.; ANDRADE, A.G.; ROSSI, C.Q.; CAPECHE, C.L. **Curso de Recuperação de Áreas Degradadas: A Visão da Ciência do Solo no Contexto do Diagnóstico, Manejo, Indicadores de Monitoramento e Estratégias de Recuperação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2008.
- VIEIRA, L.S. **Manual da Ciência do Solo**. 2ª. ed. São Paulo: Agronômica Ceres. 1988. 464 p.
- YARON, B.; CALVET, R.; PROST, R. **Soil Pollution: Processes and Dynamics**. Berlim: Springer, 1996. 313 p.