

# Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações

## Soil-landscape relationships: concepts, developments and applications

Milton César Costa Campos<sup>1</sup>

### Resumo

As relações solo-paisagem permitem associar atributos topográficos e tipos de solos, tornando-se úteis na predição de ocorrência dos tipos de solos nas paisagens e auxiliando no estudo detalhado dos solos. Diante disso, esta revisão tem como objetivos gerais conceituar e discutir aspectos da relação solo-paisagem, bem como sua evolução no Brasil e no mundo e suas aplicações aos estudos de solos. Os conceitos das relações solo-paisagem combinam as feições da superfície da terra, componentes de subsuperfície e atributos do solo. Quanto ao surgimento e discussão desse conceito, acredita-se que apesar de não haver registros de relatos sobre os estudos da relação solo-paisagem, especula-se que esses estudos foram iniciados no final do século XIX e registrados com o surgimento do conceito de CATENA. Nesse sentido, vários modelos de paisagem propuseram estudar e entender as relações entre as condições do solo e a topografia, dentre estes pode-se destacar o modelo de superfície geomórfica, unidades de vertente e curvatura do terreno. Apesar da importância e discussão dos conceitos das relações solo-paisagem, poucos trabalhos abordam a temática com vistas a identificar e mapear solos, muito embora estes modelos permitam compreender as relações entre as condições do solo e os aspectos topográficos do terreno. Por outro lado, o uso dos conceitos de superfícies geomórficas, unidades de vertentes e curvatura do terreno nos estudos de solo-paisagem são fundamentais para estudos de gênese, levantamento e classificação de solos, assim como para a obtenção de informações de estimativas de erosão, estabelecimento de manejo, planejamento e uso do solo.

**Palavras-chave:** pedologia; solo-paisagem; atributos do solo; modelos de paisagem.

### Abstract

The soil-landscape relationships allow for the association of topographic attributes and soil types, making it useful in predicting the occurrence of soil types in landscapes, and assisting in the detailed study of soils. Thus, this review aims to conceptualize and discuss general aspects of soil-landscape relationship, its evolution in Brazil and around the world, and its application to soil studies. The concepts of soil-landscape relationships

---

<sup>1</sup> Dr.; Engenheiro Agrônomo; Professor Adjunto I, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas, UFAM - Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical – Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia; Endereço: Rua 29 de agosto, 786, CEP: 69800-000, Humaitá, Amazonas, Brasil; E-mail: mcesarsolos@gmail.com

combine the features of the earth's surface, subsurface components and soil attributes. Regarding the emergence and development of these concepts, despite the absence of records concerning the reports of studies of soil-landscape, it is speculated that they began in the late nineteenth century, and were registered with the emergence of the concept of CATENA. In this sense, several models proposed to study the landscape and understand the relationships between soil conditions and topography. Among these models we can highlight the geomorphic surface, slope units and terrain curvature model. Despite the importance and discussion of the concepts of soil-landscape relationships, few studies address the issue with the goal of identifying and mapping soils, although these models allow for the understanding of the relationship between soil conditions and topographical features of the terrain. On the other hand, the use of the concepts of geomorphic surfaces, units of slopes and topographic curvature in the studies of soil-landscape are essential to develop the studies of genesis, surveying and classification of soil. The concepts are also important to obtain estimates of erosion, and to establish management, planning and use of the soil.

**Key-words:** pedology; soil-landscape; soil attributes; landscape model.

## Introdução

As relações solo-paisagem são ferramentas importantes estudos detalhados dos atributos do solo e mapeamento e levantamento de solos, visto que a associação entre os atributos topográficos (a inclinação e a declividade do terreno, a orientação e a curvatura da superfície terrestre) e as classes de solos é potencialmente útil para melhorar a predição da ocorrência dos tipos de solos nas paisagens (CAMPOS et al., 2006).

Vários trabalhos buscam definir as relações solo-paisagem, de acordo com Pennock e Veldkamp (2006) paisagem é a combinação entre as feições da superfície da terra e os componentes de subsuperfície, enquanto que solo é um corpo natural tridimensional e dinâmico que está inserido na paisagem. Por outro lado, para Carré e Mcbratney (2005) a relação "solo-paisagem", refere-se ao somatório entre o solo e a paisagem definido no tempo e espaço, ou seja, é o conjunto dos atributos do solo e da paisagem e a interação entre ambos.

Apesar de não haver registros de relatos sobre os estudos da relação solo-paisagem, acredita-se que esses estudos foram iniciados pelo russo Vaseli V. Dockuchaev, no final do século XIX, haja vista que seu modelo englobava o relevo como fator de formação. Entretanto registros de estudos dessa natureza surgiram mais tarde com Milne (1935) e (1936) que sugere o conceito de catena, afirmando que as mudanças na paisagem interferem na distribuição e arranjo dos solos. A partir desses trabalhos muitos outros foram realizados e que sustentaram os estudos da relação solo-paisagem, tais como Ruhe (1956), Glazovskaya (1963), Huggett (1975), Pennock et al. (1987), Hudson (1992), Florinsky et al. (2002) e Pennock e Veldkamp (2006).

Para aplicações dos estudos das relações solo-paisagem, necessita-se utilizar dos modelos de paisagem, pois propõem a estudar e entender as relações entre as condições do solo e a topografia. Dentre esses modelos, pode-se destacar o modelo proposto por Ruhe (1956) e Daniels et al. (1971) que estabelece

a definição de superfície geomórfica, como sendo uma porção de terra que é especialmente definida no espaço e no tempo. É o modelo proposto por Dalrymple et al. (1968), onde estabelece um modelo de paisagem, composto por nove unidades hipotéticas de vertente, podendo estar parcialmente ausentes, ou repetidas na catena.

Diante disso, esta revisão tem como objetivos gerais conceituar e discutir aspectos da relação solo-paisagem, bem como sua evolução no Brasil e no mundo e suas aplicações aos estudos de solos.

### **Discussão Conceitual da Relação Solo-paisagem**

A paisagem é a combinação entre as feições da superfície da terra e os componentes de subsuperfície (material de origem) (PENNOCK; VELDKAMP, 2006) enquanto que solo é um corpo natural tridimensional e dinâmico que está inserido na paisagem (MINASNY; MCBRATNEY, 2006).

Por outro lado, a relação “solo-paisagem” pode ser entendida como o padrão de distribuição espacial dos atributos do solo e suas relações de dependência com a disposição do relevo (BUI et al., 1999). Para Carré e Mcbratney (2005) a relação “solo-paisagem”, refere-se ao somatório entre o solo e a paisagem definido no tempo e espaço, ou seja, é o conjunto dos atributos do solo e da paisagem e a interação entre ambos. Huggett, (1975) afirma que este modelo tem como característica armazenar, transformar e transmitir forças, tendo entradas de materiais e de energia e saídas de sedimentos clásticos, colóides e materiais solúveis.

Para Bockheim et al. (2005), a contribuição mais importante que o modelo proposto por Huggett, (1975) trás é a visão

tridimensional do corpo do solo, fazendo inferências a migração, dissolução e percolação de constituintes minerais e orgânicos pela água, sendo condicionadas pelas formas da paisagem. Schoorl et al. (2002) acrescenta que esses ambientes são dinâmicos e sofrem evolução ao longo do tempo, podendo ocorrer erosão ou deposição. De acordo com Daniels e Hammer (1992) este conceito mostra uma nova perspectiva que favorece o entendimento dos processos geomórficos na formação do solo.

Moore et al. (1991), Bui et al. (1999) acrescentam que essa relação caracteriza-se por considerar características ambientais, parâmetros topográficos e hidrológicos particulares de cada local específico. Alguns autores tais como Carré e Mcbratney, (2005) e Thompson et al. (2006) afirmam que o comportamento dos atributos do solo é governado pelos componentes da paisagem, dentre eles, altitude, declividade e curvatura do terreno que culminam com mudanças nos processos pedogenéticos. Por outro lado, segundo Seibert et al. (2007) os aspectos topográficos são aqueles que provocam maior variabilidade nos atributos do solo, daí a importância dos estudos que incorporam os conceitos da relação solo-paisagem.

Pennock e Veldkamp (2006) destacam a importância da relação solo-paisagem, pois os mesmos descrevem e estudam a dinâmica dos solos no contexto de paisagem, portanto, como corpo natural e tridimensional. De acordo com Sommer (2006), essa relação favorece melhor a compreensão e entendimento dos solos na paisagem por dois aspectos: (i) vislumbrar a variabilidade espaço-temporal dos atributos do solo e (ii) permite visualizar os processos dinâmicos, por exemplo, transporte de água e sedimentos. Além disso, de acordo com Minasny e Mcbratney, (1999) (2001)

os modelos solo-paisagem ainda ajudam entender a gênese do solo, não somente pela relação formação e erosão do solo, mas também porque incorporam os processos dinâmicos do fluxo de água e transporte de materiais orgânicos e minerais.

Sommer et al. (2008) abordando a relação solo-paisagem e a gênese do solo afirmam que existem três principais modelos: (a) desenvolvimento contínuo do solo: caracteriza-se pela presença de processos progressivos e regressivos de desenvolvimento dos solos nas paisagens. Os processos pedogenéticos progressivos referem-se à formação e organização dos horizontes, desenvolvimento do perfil e deposição de sedimentos. Por outro lado, os processos pedogenéticos regressivos caracterizam-se diminuição do desenvolvimento do solo, erosão do solo e movimento de massa.

O segundo modelo (b) parametrização do desenvolvimento do solo, de acordo com Johnson et al. (2005) refere-se aos processos intrínsecos e ao volume do solo. Tratando-se das alterações do volume do solo, pode-se observar: desenvolvimento do solo, intemperismo, erosão, movimento de massa, sedimentação e colúviação. Já os processos intrínsecos do solo, caracterizam-se por: alterações no material de origem, formação dos horizontes do solo, processos de pedoturbação, alterações biológicas, químicas e físicas no material do solo.

O terceiro modelo (c) refere-se às propriedades do solo na paisagem, neste caso considerando os fluxos laterais no interior do solo e extensão espacial e processos locais. Quanto aos fluxos laterais, refere-se aos transportes na fase sólida e fluída, por outro lado quanto à extensão e processos locais tange os modelos de desenvolvimento stricto sensu (SOMMER et al., 2008).

## **Surgimento e Evolução dos Estudos da Relação Solo-paisagem no Mundo**

Possivelmente os estudos da relação solo-paisagem iniciam-se com o próprio surgimento da definição de solo, pelo russo Vaseli V. Dockuchaev, no final do século XIX, haja vista que este modelo engloba o relevo como fator de formação, entretanto os registros de estudos dessa natureza somente começam surgir mais tarde. Milne (1935) é um dos precursores, pois relacionou o desenvolvimento do perfil e comportamento dos atributos do solo com os aspectos topográficos no oeste da África. Em seguida Milne (1936) sugere o conceito de catena, afirmando que as mudanças na paisagem interferem na distribuição e arranjo dos solos.

A partir de então, muitos outros trabalhos tem investigado as relações solo-paisagem com diferentes enfoques, por exemplo, Ruhe (1956) destaca as influências dos processos geomórficos na expressão e características dos solos nas paisagens. Glazovskaya (1963) por sua vez, acrescenta que os processos geoquímicos e o gradiente do relevo, além das superfícies geomórficas são causadores de variações dos solos nas paisagens (DANIELS et al., 1971). Para Huggett (1975) a hidrologia do terreno deve ser considerada de forma decisiva nessas alterações, condicionadas pelos fluxos de água.

Pregitzer et al. (1983) afirmam que as mudanças no solo é função do gradiente topográfico e tem relação direta com o status de nutrientes e conseqüentemente com a expressão da vegetação. Pennock et al. (1987) destacam o aumento da declividade como fator de diminuição da espessura do horizonte A dos solos e aumento dos

conteúdos da fração areia. Para Mcfadden e Knuepfer (1990) as alterações acima somente acontecem porque as variáveis clima, material de origem e tempo são governados pelos processos geomórficos, evolução da paisagem e estão intimamente relacionado com o desenvolvimento do solo.

Hudson (1992) afirma que a relação solo-paisagem refere-se ao uso das formas do relevo para prever as variações transversais do solo na paisagem. Este mesmo autor estabelece alguns paradigmas sobre o assunto: (a) dentro de uma unidade solo-paisagem ocorre interação entre os cinco fatores de formação em diferentes magnitudes resultando em diferentes tipos de solos; (b) os solos dentro de uma mesma unidade solo-paisagem são mais similares quando comparados a solos em outras unidades; (c) áreas com as formas do relevo semelhantes, também apresentaram associação de solos com características similares; (d) áreas adjacentes de diferentes unidades solo-paisagem apresentam relações espaciais; (e) uma vez que as quantidades de solos e as unidades de paisagem são determinadas na área, o tipo de solo pode ser inferido pela identificação das unidades solo-paisagem.

Posteriormente muitos outros trabalhos enfatizam a importância do assunto, dentre estes pode-se destacar os desenvolvidos por Mcsweeney et al. (1994) que relacionam a distribuição espacial dos atributos do solo com a variabilidade ambiental, particularmente com os parâmetros topográficos e hidrológicos. Neste sentido Chen et al. (1997) e King et al. (1999) observaram clara relação entre as variações das propriedades com as posições do relevo.

Seguindo essa cronologia Florinsky et al. (2002) e Park e Burt, (2002) relacionaram

as propriedades químicas do solo e a paisagem, para isso utilizam-se os modelos de solo-paisagem. Pennock (2003) destaca que a distribuição do solo nas paisagens ocorre em função dos processos de erosão e deposição de sedimentos. Nesse sentido Iqbal et al. (2005) destacam esses acontecimentos na variação dos atributos do solo.

Pennock e Veldkamp (2006) destaca que os aspectos hidrológicos e geomorfológicos favorecem o transporte de água, solutos e sedimentos. Briggs et al. (2006) enfatizam que a distribuição dos solos nas paisagens são complexos e controlados pelos processos pedogenéticos, processos de transporte e acúmulo de sedimentos, idade, vegetação, precipitação e temperatura. Para Seibert et al. (2007) a topografia é o maior fator controlador tanto dos processos hidrológicos como também do processos de formação da paisagem.

Com o advento de novas tecnologias, atualmente muitos trabalhos tem utilizando ferramentas dos sistemas de informação geográfica para entender e estudar as relações solo-paisagem, nesse sentido Wu et al. (2008) utiliza modelos de elevação digital para relacionar os atributos do solo e a morfologia do terreno. Garrigues et al. (2008) utilizam técnicas estatísticas multivariada para fazer comparações entre conjuntos de variáveis em diferentes posições da paisagem, haja vista que esta técnica permite agruparem variáveis usando critérios de similaridade ou dissimilaridade.

### **Estudos da Relação Solo-paisagem no Brasil**

Os estudos da relação solo-paisagem no Brasil iniciam-se na década de 60. Porém, ganha destaque na década de 70 como o

trabalho desenvolvido por Klamt e Beatty (1972), que observaram maior grau de desenvolvimento dos solos em posição de topos e dominância de solos distróficos, por outro lado em posições de terraços e áreas escarpadas, ocorreram predominância de solos mais jovens e eutróficos.

Em seguida, Lepsch et al. (1977) relataram que a causa da variabilidade dos atributos do solo são pequenas variações do relevo, portanto as micro e meso depressões no relevo estariam influenciando a produtividade das culturas. E fechando a década de 70, Rodrigues e Klamt (1978) estudando topossequências no Planalto Central Brasileiro também encontraram relações do comportamento das propriedades do solo com a disposição do relevo. Estes últimos conseguiram estabelecer compartimentos do relevo onde o conteúdo de gibbsita dos solos diminuiu das superfícies mais antigas para as mais recentes.

Moniz e Buol, (1982) afirmam que o entendimento das relações gênese do solo x relevo, favorece o entendimento sobre os processos pedogênicos e geomórficos, bem como auxilia o entendimento das relações solo-geomorfologia. Uberti e Klamt (1984) estudando as relações solos-superfícies geomórficas na encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul afirmam que a declividade do terreno pode influenciar grandemente na composição granulométrica do solo, pois a ação dos processos de transporte é favorecida pela declividade em detrimento do intemperismo.

Curi e Franzmeier (1984), estudando uma topossequência de Latossolos originários do basalto, observaram que os solos das posições mais inclinadas eram menos intemperizados, e que, na posição mais alta, eram mais oxídicos (hematita e goethita)

e, nos locais mais baixos, predominava a caulinita na fração argila. Espindola e Carvalho (1986) em estudo na bacia do rio Capivara observa as relações entre os compartimentos da paisagem e a mineralogia dos diversos solos estudados.

Demattê et al. (1991) retomam os estudos da relação solo-paisagem, avaliando o comportamento da cor e estrutura condicionadas pelo movimento de água no sentido do declive, por ação do fluxo superficial e subsuperficial e, portanto, influenciados pela posição do solo na paisagem. Nesse sentido Scatolini e Moniz (1992) também destacam a influencia do relevo nos atributos morfológicos. Em seguida, Vidal-Torrado e Lepsch, (1993) estabeleceu conexão entre o solo e a paisagem no Planalto Ocidental Paulista, permitindo assim, uma boa compreensão da origem do material do solo e da distribuição do solo na paisagem. Nos estudos desenvolvidos por Vidal-Torrado (1994), foi possível encontrar boas correlações entre as superfícies geomórficas e os atributos do solo, proporcionando bases úteis para auxiliar em futuros mapeamentos pedológicos detalhados.

Nesse sentido, Coelho et al. (1994) estudando as relações solo-relevo em uma encosta com transição arenito-basalto em Jaú, SP, afirmam que há variações nas distribuições das classes de solos ao longo de uma topossequência, função principalmente das expressões e disposição do relevo. Estudos desenvolvidos por Moniz et al. (1994) verificaram alterações nos atributos morfológicos do solo, com aumento horizontal no grau de desenvolvimento da estrutura, ao longo da encosta, traduzido pelo espessamento dos horizontes com agregados. Além disso, há evolução da estrutura no sentido das terras altas para o

sopé que é refletido no horizonte B e pelo aumento gradual da densidade do solo no mesmo sentido. Esse mesmo autor ainda afirma que a transformação de uma estrutura granular para uma estrutura em blocos é um processo remontante ao longo de uma vertente, induzido pela existência de fluxo lateral de água.

De acordo com Alves e Ribeiro (1995), a posição relativa dos solos na encosta apresenta maior influência no comportamento do solo que o próprio material de origem. Para Marques Júnior, (1995) a variação espacial dos atributos do solo é consequência da evolução e atuação dos processos de soerguimento e desenvolvimento das vertentes. Demattê, et al. (1996) destacam o papel do relevo no comportamento do solo, afirmando que à medida que se dirige da posição mais alta a posição mais baixa, haverá maior concentração de umidade nesta direção, ocasionado tanto pelo escoamento superficial como pelo fluxo subsuperficial, o que poderá influenciar diretamente no processo genético dos solos que ali ocorrem.

Vidal-Torrado e Lepsch, (1999) utilizando o conceito de superfícies geomórficas nos estudos solo-paisagem, destacam que as superfícies geomorficamente mais estáveis apresentam condições para um maior desenvolvimento e estabilidade dos solos, estando nas posições de topo, enquanto que as superfícies menos estáveis possuem normalmente solos menos desenvolvidos e de maior variabilidade em suas propriedades estando localizados nas posições de sopé da paisagem.

Marques Júnior e Lepsch (2000) destacam a importância de incorporar o material de origem nos estudos da relação solo-paisagem, uma vez que esse entendimento favorecerá a compreensão da variabilidade

espacial dos atributos do solo. Nesse sentido Teramoto et al. (2001) acrescenta que a geologia forneceu subsídios para explicar o relevo local e o comportamento dos solos. Estes mesmos autores afirmam que solos desenvolvidos de arenitos são mais friáveis e permeáveis enquanto que solos provenientes de siltitos e folhelhos são quase impermeáveis favorecendo o escoamento superficial e consequentemente maior erosão.

Silva et al. (2001) registram que a drenagem dos solos, condicionadas pela posição topográfica tem forte relação com o grau de desenvolvimento da estrutura, pois solos moderadamente a bem drenados apresentam estrutura moderada em blocos angulares e subangulares enquanto que solos com drenagem imperfeita, apresentaram grau de desenvolvimento fraco e estrutura padrão em prismas poligonais.

Rossi e Queiroz Neto, (2001) estudando a relação solo-paisagem na Serra do Mar (SP), afirmam que a vegetação esta diretamente relacionada ao solo e a morfologia do terreno refletindo nos atributos do solo, tais como profundidade efetiva do e a presença ou ausência de lençol freático aflorante ou subaflorante, formando assim ambientes específicos (topo, encosta, sopé) de desenvolvimento das plantas.

De acordo com Motta et al. (2002), os estudos da relação solo-paisagem podem subsidiar levantamentos de solos, constituindo dessa maneira um poderoso instrumento de predição da feição pedológica de áreas ainda não conhecidas, ao permitir a identificação da topossequência típica e o entendimento da distribuição espacial e das características dos solos de uma região. Além disso, Cunha et al. (2005) afirmam que estes estudos possibilitam a extrapolação de informações disponíveis em mapas de solos em qualquer

escala, para locais e objetivos mais específicos, implicando na redução de tempo e de custos para obtenção de dados ambientais básicos.

Mais recentemente alguns trabalhos têm relacionado à disposição da paisagem com os solos e vegetação, dentre estes se podem destacar aqueles desenvolvidos por Ramos et al. (2006) e Rugiero et al. (2006). Por outro lado Campos et al. (2007) estudando as relações solo-paisagem em diferentes substratos geológicos afirmam que a compartimentação da paisagem em superfícies geomórficas e a identificação do material de origem mostraram-se bastante eficientes para o entendimento da variação dos atributos do solo.

### **Principais Modelos Usados para Estudar a Relação Solo-paisagem**

Considerando que as formas do relevo exercem papel decisivo no tempo de exposição dos materiais de origem, na intensidade e direção do fluxo da água no perfil, e que o mesmo regula as variações nos processos pedogenéticos, o estudo e a observação das diferentes formas da paisagem, torna-se uma premissa básica na execução de levantamentos pedológicos.

A execução de levantamento de solos, com o uso e aplicações dos conceitos de modelos de paisagem, que consideram relevantes as pequenas variações no gradiente do relevo, constituem uma evolução no entendimento do binômio pedologia-geomorfologia, tornando-se uma ferramenta imprescindível para identificar e mapear áreas de solos mais homogêneos, entendidos aqui como corpo natural (BUI, 2004). Sendo assim, vários modelos de paisagem se propõem a estudar as relações entre as condições do solo e a topografia. Neste sentido, o uso de

Modelos Digitais de Elevação (MDE) e de técnicas geoestatísticas é imprescindível, conforme destaca Lark, (1999).

Segundo Sommer e Schlichting, (1997) e Bockheim et al. (2005) as formas do relevo receberam especial atenção após o surgimento do conceito de “Catena”, pois este acontecimento destacou a influência do relevo sobre a drenagem, movimento da água anisotrópico (vertical e horizontal) provocando alterações nos atributos do solo e favorecendo a identificação de superfícies geomórficas ou superfícies pedométricas que são geneticamente e evolutivamente interdependentes. Gobin et al. (2001) afirmam que o movimento da água nas paisagens é o principal responsável pelo processo de desenvolvimento do solo, por isso compreender as formas do relevo, auxilia nas inferências e predições sobre os atributos do solo em diferentes segmentos de vertentes.

O modelo de paisagem proposto por Ruhe (1956) define superfície geomórfica como sendo uma porção de terra que é definida no espaço e no tempo. Em acréscimo a esse conceito, Daniels et al. (1971) demonstram que as superfícies geomórficas têm limites geográficos definidos e são formadas por um ou mais agentes num determinado período de tempo. Assim, o entendimento das relações entre solos e superfície geomórfica constituem uma ferramenta importante tanto para compreender a distribuição espacial dos solos na paisagem, como para auxiliar nos levantamentos e planejamentos de uso do solo (TERAMOTO, et al., 2001; MOTTA et al., 2002).

O modelo de paisagem estabelecido por Troeh (1965) baseia-se na curvatura do terreno, assim as pedoformas podem ser: lineares, convexas e côncavas, neste modelo as pedoformas associa o perfil (inclinação)

e curvatura (curva) da paisagem, dessa maneira influenciando nos movimentos e distribuição dos fluxos de água (convergência e divergência) e conseqüentemente provocando variações nos solos. De acordo com Nizeyimana e Bicki (1992) e Wilding (2000) a drenagem do solo está fortemente ligada aos ambientes deposicionais e erosionais direcionando o caminhamento da água. Devido à importância do modelo geomorfológico Troeh (1965), o USDA-NRCS (2002) recomendou que na descrição e coleta de solo no campo, faz-se necessário as observações da curvatura e perfil do terreno.

Estudos utilizando os conceitos de pedoformas verificaram que as pedoformas côncavas condicionam maior variabilidade dos atributos granulométricos, conteúdo de matéria orgânica e valores de fatores de erosão quando comparado a solos localizados em pedoformas lineares (SOUZA et al., 2003; MONTANARI et al., 2005). Nos estudos desenvolvidos por Nizeyimana e Bicki (1992) foi observado que os solos nas pedoformas côncavas apresentaram maiores variabilidades de densidade do solo, capacidade de troca catiônica e disponibilidade de fósforo quando comparadas aos ambientes de pedoformas convexas.

Dalrymple et al. (1968) estabelecem um modelo de paisagem composto por nove unidades hipotéticas de vertente, podendo estar parcialmente ausentes, ou repetidas em uma catena. Este modelo enfatiza as interações entre os materiais do solo e sua movimentação, transporte e redeposição pela água e gravidade, em superfície e subsuperfície no terreno, dessa forma sendo considerado pedogeomórfico, pois relaciona processos geomórficos superficiais aos processos pedológicos subsuperficiais e atuais.

Os segmentos de vertente, deste modelo de paisagem, afetam grandemente a variação dos atributos do solo, em função principalmente da quantidade, fluxo e distribuição sazonal da água, que podem condicionar ambientes específicos, pois interferem no movimento de bases e comportamento das argilas (DANIELS; HAMMER, 1992).

De acordo com o modelo de Dalrymple et al. (1968) os segmentos de vertentes normalmente encontrados são: topo, terço superior, terço inferior, terço médio, ombro, meia encosta, escarpa, sopé de transporte, sopé de deposição, dentre outros. Segundo Wysocki et al. (2000) esses segmentos propiciam a variação dos atributos do solo, essas variações por sua vez interferem na drenagem e no transporte lateral, contribuindo para aumentar ou diminuir a complexidade dos solos nesses ambientes.

Huggett, (1975); Pachepsky et al. (2001) e Iqbal et al. (2005) destacam a importância da segmentação da vertente (topo, ombro, sopé, meia encosta, etc.) no transporte e retenção de água no solo e sua relação com o transporte e deposição de sedimentos, de maneira a provocar variabilidade espacial nos atributos do solo. Estudos desenvolvidos por Mulla e Mcbratney (1999) e Park et al. (2001) mostram que os aspectos topográficos do terreno podem ser bons indicadores da variação dos atributos do solo, pois a variabilidade dos atributos do solo é causada por pequenas variações do declive que afeta o transporte e o armazenamento de água dentro do perfil do solo.

Segundo Campos et al. (2006), os modelos de paisagens propiciam melhor entendimento do sistema de fluxo de água no terreno e permitem o entendimento

das relações geomorfologia-estratigrafia-pedologia, sendo dessa forma úteis para a compreensão dos processos genéticos e do comportamento dos solos. Além disso, permite entender o comportamento do solo no sentido conceitual de corpo natural, variando com a expressão da paisagem (SOIL SURVEY STAFF, 1999).

### **Aplicação dos Conceitos de Superfícies Geomórficas na Pedologia**

Estudos realizados por Ruhe (1956) e Daniels et al. (1971), conceituam superfícies geomórficas como sendo uma porção de terra definida no tempo e no espaço, com limites geográficos e formada por um ou mais agentes num determinado período de tempo. Em acréscimo destacam os seguintes critérios para caracterizar as superfícies geomórficas:

a. uma superfície é mais jovem do que qualquer outra superfície ou material que secciona;

b. é mais velha ou, pelo menos, contemporânea aos depósitos de fundo de vale inferior e próxima;

c. é mais jovem do que superfícies geomórficas adjacentes situadas em posição superior e, portanto mais velha do que superfícies adjacentes situadas em posição inferior;

d. é mais velha ou, pelo menos, contemporânea aos depósitos existentes sobre ela;

e. é mais jovem do que qualquer estrutura que ela corta em bisel.

Segundo Ruhe et al. (1967) e Daniels et al. (1971), as superfícies geomórficas podem ser ainda, erosionais ou deposicionais e, em uma área pode haver ocorrência de ambas ou apenas de um ambiente geomórfico. De maneira que as superfícies geomórficas

mais velhas são mais estáveis e normalmente são encontradas nos topos, estando associadas a ambientes deposicionais, enquanto que as superfícies mais jovens ocorrem em áreas de maior declive, sendo mais variáveis e considerados ambientes erosionais.

Schumacher et al. (1999) afirmam que as variações da disposição das superfícies geomórficas são influenciadas diretamente pelos processos de erosão e deposição dos solos nas paisagens. Esse fato normalmente está associado à inclinação do declive e a curvatura do terreno. Além disso, estudos realizados por Schumacher et al. (1999) acrescentam os processos geomórficos e os impactos humanos como agentes erosivos que provocam alterações (erosão e deposição) na paisagem.

Daniels e Hammer (1992) afirmam que pelo fato de as superfícies geomórficas serem bidimensionais, resultados de determinados fenômenos ocorridos em determinadas épocas e segundo processos erosivos específicos (remoção e, ou, deposição). De acordo com Cunha et al. (2005) a sucessão de tais fenômenos está refletida nas quebras de gradiente do terreno, desde que elas não estejam condicionadas por diferenças marcantes da litologia local.

No tocante à identificação e a delimitação das superfícies geomórficas, de acordo com Daniels et al. (1971), estes devem ser executados através de critérios topográficos e estratigráficos, utilizando nestes casos as “quebra do gradiente no terreno” e a identificação do material de origem. Vidal-Torrado et al. (2005) acrescenta que deve-se usar unicamente critérios geomórficos e estratigráficos para a identificação e datação das superfícies geomórficas e somente depois desses resultados podem ser correlacionados com os atributos do solo.

Gerrard (1992) afirma que para estudar as relações solos-superfície geomórficas deve-se obedecer a três critérios básicos: (a) Fazer um inventário da estratigrafia mais superficial, ou seja, os materiais de origem dos solos da área; (b) Procurar definir as superfícies geomórficas no tempo, o que indica as idades relativas do solo; (c) Fazer correlação entre as propriedades do solo e a da paisagem, que integra os dois itens anteriores.

Vários são os trabalhos fazem uso dos conceitos de superfícies geomórficas aplicados à pedologia. Normalmente nestes trabalhos, são estabelecidas relações cronológicas entre os solos e as superfícies geomórficas. Nesse sentido, Teramoto et al. (2001) afirmam que a relação entre solos e superfícies geomórficas é representada pela tendência de que quanto mais velha e estável é a superfície, mais homogênea ela deve ser em relação aos solos que nela ocorrem, ou seja, a complexidade e variabilidade de solos é inversamente proporcional à idade da superfície.

Vidal-Torrado e Lepsch (1999) destacam que as superfícies geomórficamente mais estáveis apresentam condições para um maior desenvolvimento e estabilidade dos solos e as superfícies menos estáveis possuem normalmente solos menos desenvolvidos e de maior variabilidade em suas propriedades. Evidenciando, dessa maneira, que a variação dos tipos de solos, assim como a estabilidade geomórfica das superfícies, está estreitamente ligada aos fatores tempo e relevo (UBERTI; KLAMT, 1984, COELHO et al., 1994).

Cunha et al. (2005), usando os conceitos de superfícies geomórficas como indicadores da idade dos solos, encontraram diferenças nas taxas Fed/Fes dos solos das três superfícies geomórficas estudadas, indicando que a superfície mais velha tem

solos mais intemperizados, com valores dessa relação (Fed/Fes) variando entre 0,9 e 1,0, enquanto as superfícies mais novas por sua vez apresenta solos menos intemperizados e valores de Fed/Fes entre 0,5 e 0,6. Nos trabalhos desenvolvidos por Klamt e Beatty (1972) e Uberti e Klamt (1984) foi observado que o maior grau de desenvolvimento dos solos ocorreu em posição de topos e dominância de solos distróficos, por outro lado em posições de terraços e áreas escarpadas, foi observada a predominância de solos mais jovens e eutróficos.

Pesquisas desenvolvidas por Rodrigues e Klamt (1978) em áreas de Cerrado do Brasil, foi possível estabelecer compartimentos do relevo onde o conteúdo de gibbsita dos solos diminuiu das superfícies mais antigas para as mais recentes. De acordo com Cunha et al. (2005), o conteúdo de caulinita do solo decresce significativamente da superfície geomórfica mais velha para a mais rejuvenescida e coincide com o aumento da mineralogia oxidica, provavelmente ligada ao tempo de evolução pedogenética e ao material de origem.

Trabalhos desenvolvidos por Marques Júnior e Lepsch, (2000) e Campos et al. (2007) também fazem inferências a maior estabilidade dos atributos físicos, químicos e mineralógicos nas superfícies geomórficas mais antigas e maior variabilidade desses atributos nas superfícies pedogeneticamente menos evoluídas. Marques Júnior, (1995) ainda destaca que os índices Ki e as relações silte/argila, Fed/Fes, e Ca/Mg podem ser usados como indicativos de grau de intemperismo do solo para comparar as superfícies geomórficas entre si.

Vidal-Torrado (1994) e Cooper et al. (2002) encontraram boas correlações entre as superfícies geomórficas e os atributos do

solo. Nesse sentido Daniels e Hammer (1992) salientam que a maior parte da variabilidade é sequencial e pode ser prevista quando se faz uso do conceito de superfície geomórfica e estas predições são muito úteis principalmente para execução de levantamentos pedológicos detalhados. Nesta mesma linha Motta et al. (2002) estudando as relações entre os solos e as superfícies geomórficas em áreas do Planalto Central Brasileiro, afirmam que a utilização dos conceitos de superfícies geomórficas são bastante aplicados em levantamentos pedológicos.

Alves e Ribeiro (1995), também aplicando os conceitos de superfícies geomórficas, afirmam que compartimentação da paisagem em superfícies geomórficas é a melhor maneira de se entender as variações e distribuição dos solos na paisagem bem como os processos que nele atuam, observando grandes contrastes de suas características, condicionadas pela geologia, topografia e hidrologia de cada superfície.

Alguns trabalhos investigaram as influências do material de origem e das superfícies geomórficas no comportamento dos solos. Por exemplo, Marques Junior (1995) estudou as relações solo-superfície geomórficas sob substrato arenítico na região de Monte Alto, SP, Meirelles (1998) estudou as mesmas relações sob substrato basáltico na região de Jaboticabal, SP. Enquanto Cunha et al. (2005) e Campos et al. (2007) estudaram as relações solo-superfícies geomórficas em transição arenito-basalto, sendo constatado em todos esses estudos relações estreitas entre as idades dos solos e as das superfícies geomórficas.

Segundo Chadwick e Graham, (2000) e Wysocki et al. (2005) a idade, a intensidade e a duração dos processos pedológicos, assim como as próprias características do material

de origem, são os principais responsáveis pelos tipos e distribuição dos solos na paisagem. Estando ligado principalmente à complexidade dos processos geomórficos e às formas do relevo (PHILLIPS et al., 2001).

De acordo com Krasilnikov et al. (2005) o entendimento das relações entre os solos e as superfícies geomórficas permitem compreender a estrutura da paisagem, favorecendo assim a predição da distribuição dos solos, vegetação e processos erosivos, constituindo-se uma importante ferramenta para levantamento pedológico e manejo do solo.

Sanchez et al. (2005), avaliando a variação dos atributos do solo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas na região do Alto Paranaíba, MG, observaram que tanto os atributos do solo como a produção de café apresentou resultados coincidentes com o conceito de superfícies geomórficas. Marques Júnior et al. (1997) também observou maior produção de cana-de-açúcar na superfície mais rejuvenescida, indicando que os limites entre as superfícies geomórficas podem representar limites de locais específicos de manejo.

Outro aspecto importante que tem sido estudado é a relação das superfícies geomórficas com os processos erosivos. Graham et al. (1990a, 1990b) e Phillips, (2004) alertam que essas superfícies geomórficas variam grandemente em extensão, dependendo das posições em que se encontram nas paisagens. De acordo com Bockheim et al. (2005) os solos são dependentes geneticamente e evolutivamente das superfícies geomórficas nas quais estão inseridos. Apesar de estar implícito no conceito de superfície geomórfica o caráter erosional e deposicional, poucos são os estudos que cruzam essas informações com as taxas de erosão do solo (MINASNY; McBRATNEY, 2006).

Campos et al. (2008) avaliando as perdas de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas na região de Pereira Barreto, SP, observa que as perdas de solo apresentaram comportamento coerente com a conceituação de superfícies geomórficas, evidenciando as relações de dependência do processo erosivo do solo aos ambientes geomórficos.

Portanto, a paisagem deve ser considerada o principal fator para delinear e alocar taxonomicamente tipos do solo. Há então de se considerar a estratificação da unidade solo de acordo com o traçado da paisagem e particularmente com as unidades de terras com sistemas fisiográficos semelhantes (CARRÉ; MACBRATNEY, 2005).

Nesse sentido, Perez et al. (1980), estudando as relações solo-geomorfologia em uma varzea no rio Mogi Guaçu, (SP) reconhecem a importância destas ferramentas para compreender as razões de desenvolvimento dos diferentes tipos de solos. Moniz (1996), por sua vez, destaca as relações entre a geomorfologia e a pedologia principalmente pois permite: 1) estabelecer relação entre a distribuição do solo e a fisiografia; 2) relação de dependência da gênese do perfil do solo com a topografia;

3) desenvolvimento simultâneo dos solos e do relevo; 4) influências dos processos geomorfológicos nas características do material de origem.

### Considerações Finais

Apesar da importância e discussão dos conceitos das relações solo-paisagem poucos trabalhos abordam a temática com vistas a identificar e mapear solos, muito embora estes modelos permitam compreender as relações entre as condições do solo e os aspectos topográficos do terreno;

O uso dos conceitos de superfícies geomórficas, unidades de vertentes e curvatura do terreno nos estudos de solo-paisagem são fundamentais para estudos de gênese, levantamento e classificação de solos, assim como também para a obtenção de informações de estimativas de erosão, estabelecimento de manejo, planejamento e uso do solo.

A aplicação de modelos de paisagem com vistas à compreensão do comportamento dos atributos do solo apresenta-se como uma alternativa eficiente nos estudos das relações solo-paisagem, pois esses modelos permitem vislumbrar o solo no sentido conceitual como corpo natural, ao mesmo tempo em que inter-relaciona todas as possíveis causas de variação.

### Referências

- ALVES, A. J. O.; RIBEIRO, M. R. Caracterização e gênese dos solos de uma topossequência na microrregião da Mata Seca de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.297-305, 1995.
- BOCKHEIM, J. G.; GENNADIYEV, A. N.; HAMMER, R. D.; TANDARICH, J. P. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, v.124, p.23-36, 2005.
- BRIGGS, C. A. D.; BUSACCA, A. J.; MCDANIEL, P. A. Pedogenic processes and soil-landscape relationships in North Cascades National Park, Washington. **Geoderma**, v.137, p.192-204, 2006.

- BUI, E. N. Soil survey as a knowledge system. **Geoderma**, v.120, p.17–26, 2004.
- BUI, E. N.; LOUGHEAD, A.; CORNER, R. Extracting soil-landform rules from previous soil surveys. **Australian Journal of Soil Research**, v.37, p.495–508, 1999.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERE, D. M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Ciência Rural**, Santa Maria, 38:2485-2492, 2008.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L. A. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.519-529, 2007.
- CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, p. 104-114, 2006.
- CARRÉ, F.; MCBRATNEY, A. B. Digital terrain mapping. **Geoderma**, v.128, p.340–353, 2005.
- CHADWICK, O. A.; GRAHAM, R. C. Pedogenic processes. In: SUMNER, M. **Handbook of Soil Science**. New York: CRC Press, 2000. p. E41– E73.
- CHEN, Z. S.; HSIEH, C. F.; JIANG, F. Y.; HSIEH, T. H.; SUN, I. F. Relationships of soil properties to topography and vegetation in a subtropical rainforest in southern Taiwan. **Plant Ecology**, v.132, p.229–241, 1997.
- COELHO, R. M.; LEPSCH, I. F.; MENK, J. R. F. Relação solo-relevo em uma encosta com transição arenito-basalto em Jaú, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.125-137, 1994.
- COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F. Stratigraphical discontinuities, tropical landscape evolution and soil distribution relationships in case study in SE-Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.673-683, 2002.
- CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.81-90, 2005.
- CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of Oxisols from Central Plateau of Brazil. **Soil Science Society American Journal**, v.48, p.341-346, 1984.
- DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hypothetical nine unit land a surface model. **Geomorphology**, v.12, p.60-76, 1968.
- DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. F.; CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**, v.23, p.51-87, 1971.

DANIELS, R. B.; HAMMER, R. D. **Soil geomorphology**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 236p.

DEMATTÊ, J. L. I.; MARCONI, A.; SPAROVEK, G.; VIDAL-TORRADO, P. Estimativa da evolução do intemperismo mediante ganhos e perdas de íons numa seqüência de solos desenvolvidos de diabásio e influenciados pela drenagem em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.69-73, 1991.

DEMATTÊ, J. L. I.; MAZZA, J. A.; DEMATTE, J. A. M. Caracterização e gênese de uma toposseqüência Latossolo Amarelo-Podzol originado de material da Formação Barreiras - Estado de Alagoas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.53, p.20-30, 1996.

ESPÍNDOLA, C. R.; CARVALHO, W. A. Relações entre a natureza dos solos e suas posições na paisagem na Bacia de Capivara, Botucatu (SP). **Científica**, Jaboticabal, v.14, p.29-37, 1986.

FLORINSKY, I. V., EILERS, R. G., MANNING, G. R., FULLER, L. G. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. **Environmental Modeling Software**, v.17, p.295-311, 2002.

GARRIGUES, S.; ALLARD, D.; BARET, F.; MORISETTE, J. Multivariate quantification of landscape spatial heterogeneity using variogram models. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.216-230, 2008.

GERRARD, J. **Soil geomorphology: An integration of pedology and geomorphology**: London, Chapman Hall, 1992. 269p.

GLAZOVSKAYA, M. A. On geochemical principles of the classification of natural landscapes. **International Geological Review**, v.5, p.1403-1431, 1963.

GOBIN, A.; CAMPLING, P.; FEYEN J. Soil-Landscape modelling to quantify spatial variability of soil texture. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.26, p.41-45, 2001.

GRAHAM, R. C.; BUOL, S. W. Soil-geomorphic relations on the Blue Ridge front: II. Soil characteristics and pedogenesis. **Soil Science Society American Journal**, v.54, p.1367-1377, 1990a.

GRAHAM, R. C.; DANIELS, R. B.; BUOL, S. W. Soil-geomorphic relations on the Blue Ridge front: I. Regolith types and slope processes. **Soil Science Society American Journal**, v.54, p.1362-1367, 1990b.

HUDSON, B. D. The soil survey as a paradigm-based science. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.836-841, 1992.

HUGGETT, R. J. Soil landscape systems: a model of soil genesis. **Geoderma**, v.13, p. 1-22, 1975.

- IQBAL, J.; READ, J. J.; THOMASSON, A. J.; JENKINS, J. N. Relationships between soil-landscape and dryland cotton lint yield. **Soil Science Society American Journal**, v.69, p.872-882, 2005.
- JOHNSON, D. L.; DOMIER, J. E. J.; JOHNSON, D. N. Animating the biodynamics of soil thickness using process vector analysis: a dynamic denudation approach to soil formation. **Geomorphology**, v.67, p.23-46, 2005.
- KING, D.; BOURENNANE, H.; ISAMBERT, M.; MACAIRE, J. J. Relationship of the presence of a non-calcareous clay-loam horizon to DEM attributes in a gently sloping area. **Geoderma**, v.89, p.95-111, 1999.
- KLAMT, N.; BEATTY, M. T. Gênese duma sequência de solos da região do Planalto médio Riograndense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.7, p.99-109, 1972.
- KRASILNIKOV, P. V.; CALDERÓN, N. E. G.; SEDOV, S. N.; GÓMEZ, E. V.; BELLO, R. R. The relationship between pedogenic and geomorphic processes in mountainous tropical forested area in Sierra Madre del Sur, Mexico. **Catena**, v.62, p.14-44, 2005.
- LARK, R.M. Soil-landform relationships at within-field scales: an investigation using continuous classification. **Geoderma**. v. 92, 141-165, 1999.
- LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W.; DANIELS, R. B.; Soil-landscape relationships in Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. **Soil Science Society American Journal**, v.41, p.104-9, 1977.
- MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociências**, São Paulo, v.19, p.90-106, 2000.
- MARQUES JÚNIOR, J. **Distribuição e atributos dos solos em relação à forma e evolução de uma vertente em Monte Alto, SP**. 1995. 226f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- MARQUES JUNIOR, J.; BUENO, C. R. P.; FIORIO, P. R. Agricultural aptitude and expectation towards erosion in sugar cane production areas in São Paulo State. In: CONFERENCE ON – GEOINFORMATION FOR SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT, Enschede. The Netherlands, 1997. **Abstracts...** Enschede, ITC, 1997.
- McFADDEN, L.D.; KNUEPFER, P.L.K. Soil geomorphology: the linkage of pedology and superficial processes. In: KNUEPFER, P.L.K., MACFADDEN, L.D. (Ed.), *Soils and Landscape Evolution*. **Geomorphology**, v.3, p.197-205, 1990.
- McSWEENEY, K.; GESSLER, P. E.; SLATER, B.; HAMMER, R. D.; BELL, J. C.; PETERSEN, G. W. **Towards a new framework for modeling the soil-landscape continuum**. In: AMUNDSON, R. G., et al. (Ed.). *Factors of Soil formation: A fiftieth Anniversary Retrospective*. SSSA Spec. Publ., vol. 33. SSSA, Madison, WI, p. 127-145, 1994.

- MEIRELLES, H. T. **Relações entre superfícies geomórficas, segmentos de vertente e propriedades dos solos em Batatais, SP.** 1998. 118f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.
- MILNE, G. Normal erosion as a factor in soil profile development. **Nature**. v.138, p.148, 1936.
- MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. **Soil Research**, v.4, p.183-198, 1935.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development. **Geoderma**, v.90, p.3-21, 1999.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development: II. A two-dimensional model incorporating chemical weathering. **Geoderma**, v.103, p.161-180, 2001.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Mechanistic soil-landscape modelling as an approach to developing pedogenetic classifications. **Geoderma**, v.133, p.138-149, 2006.
- MONIZ, A. C. Evolução de conceitos no estudo da gênese de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.349-362, 1996.
- MONIZ, A. C.; MANFREDINI, S., DEMATTÊ, J. L. I. Variações morfológicas, mineralógicas e hídricas em terra roxa estruturada ao longo de uma vertente em Rio das Pedras (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.513-20, 1994.
- MONIZ, A. C.; BUOL, S. W. Formation of an Oxisol Ultisol transition in São Paulo, Brasil: I. Double-water flow model of soil development. **Soil Science Society American Journal**, v.46, p.1228-33, 1982.
- MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.69-77, 2005.
- MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, v.5, p.3-30, 1991.
- MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JUNIOR, W.; BLANCANEAUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.869-878, 2002.
- MULLA, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil Spatial Variability. In: SUMMER, M. E. **Handbook of Soil Science**. New York: CRC Press, 1999. p.A321-A351.

- NIZEYIMANA, E.; BICKI, T.J. Soil and soil-landscape relationships in the North Central region of Rwanda, East-Central Africa. **Soil Science**, v.153, p.225-236, 1992.
- PACHEPSKY, Y.A.; TIMLIN, D.J.; RAWLS, W.J. Soil water retention as related to topographic variables. **Soil Science Society American Journal**, v.65, p.1787-1795, 2001.
- PARK, S. J.; BURT, T. P. Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope. **Soil Science Society American Journal**, v.66, p.1897-1910, 2002.
- PARK, S. J.; MCSWEENEY, K.; LOWERY, B. Identification of the spatial distribution of soils using a process-based terrain characterization, **Geoderma**, v.103, p.249-272, 2001.
- PENNOCK, D.J. Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. **Soil & Tillage Research**, v.69, p.15-26, 2003.
- PENNOCK, D.J.; VELDKAMP, A. Advances in landscape-scale soil research. **Geoderma**, v.133, p.1-5, 2006.
- PENNOCK, D.J.; ZEBARTH, B.J.; JONG, E. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, v.40, p.297-315, 1987.
- PEREZ, A.; DONZELLI, J.L.; LEPSCH, I.F. Relação solos geomorfologia em várzea do Rio Mogi Guaçu, (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.181-187, 1980.
- PHILLIPS, D. H.; FOSS, J. E.; STILES, C. A.; TRETTIN, C. C.; LUXMOORE, R. J. Soil-landscape relationships at the lower reaches of a watershed at Bear Creek near Oak Ridge, Tennessee. **Catena**, v.44, p.205-222, 2001.
- PHILLIPS, J. D. Geogênese, pedogênese, and multiple causality in the formation of texture-contrast soils. **Catena**, v.58, p.275-295, 2004.
- PREGITZER, K. S.; BARNES, B. V.; LEMME, G. D. Relationship of topography to soils and vegetation in an upper Michigan ecosystem. **Soil Science Society American Journal**, v.47, p.117-123, 1983.
- RAMOS, M.V.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; SILVA, M. L. W. Veredas do triângulo Mineiro: solos, água e uso. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n.2, p.283-293, 2006.
- RODRIGUES, T. E.; KLAMT, E. Mineralogia e gênese de uma seqüência de solos do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, p.132-139, 1978.
- ROSSI, M.; QUEIROZ NETO, J. P. Relações solo-paisagem em regiões tropicais úmidas: o exemplo da Serra do Mar em São Paulo, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.14, p.11-23, 2001.

RUGGIERO, P. G. C.; PIVELLO, V. R.; SPAROVEK, G.; TERAMOTO, E.; PIRES NETO, A. G. Relação entre solo, vegetação e topografia em área de cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP): como se expressa em mapeamentos? **Acta Botânica Brasileira**, Feira de Santana, v.20, p.383-394, 2006.

RUHE, R.V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. **Soil Science**, Baltimore, v.82, p.441-445, 1956.

SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.489-495, 2005.

SCATOLINI, F.M.; MONIZ, A. C. Influencia do material de origem, lençol freático surgente e da posição topográfica nos solos de uma encosta em Mococa (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.379-388, 1992.

SCHOORL, J. M.; VELDKAMP, A.; BOUMA, J. Modeling water and soil redistribution in a dynamic landscape context. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.66, p.1610-1619, 2002.

SCHUMACHER, T. E.; LINDSTROM, M. J.; SCHUMACHER, J. A.; LEMME, G. D. Modeling spatial variation in productivity due to tillage and water. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.51, p. 331-339, 1999.

SEIBERT, J.; STENDAHL, J.; SØRENSEN, R. Topographical influences on soil properties in boreal forests. **Geoderma**, v.141, p.139-148, 2007.

SILVA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, R. A. M. Estudo de topossequência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.965-976, 2001.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys**. 2nd ed. Agric. Handbook, vol. 436. U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC. 869 pp. 1999.

SOMMER, M. Influence of soil pattern on matter transport in and from terrestrial biogeosystems - A new concept for landscape pedology. **Geoderma**, v.133, p.107-123, 2006.

SOMMER, M.; SCHLICHTING, E. Archetypes of catenas in respect to matter; a concept for structuring and grouping catenas. **Geoderma**, v.76, p.1-33, 1997.

SOMMER, M.; GERKE, H.H.; DEUMLICH, D. Modelling soil landscape genesis — A “time split” approach for hummocky agricultural landscapes. **Geoderma**, v.145, p.480-493, 2008.

SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1067-1074, 2003.

TERAMOTO, E.R.; LEPSCH, I.F.; VIDAL-TORRADO, P. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do ribeirão Marins (Piracicaba - SP). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, p.361-371, 2001.

THOMPSON, J.A.; PENA-YEWTUKHIW, E.M.; GROVE, J.H. Soil-landscape modeling across a physiographic region: Topographic patterns and model transportability. **Geoderma**, v.133, p.57-70, 2006.

TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. **Soil Science Society American Journal**, v. 263, p.616-27, 1965.

UBERTI, A.A.; KLAMT, E. Relações solos-superfícies geomórficas na encosta inferior do nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.229-234, 1984.

USDA-NRCS. **Field Book for describing and sampling soils**. National Soil Survey Center. Lincoln, p.31-44, 2002.

VIDAL-TORRADO, P. **Pedogênese e morfogênese no distrito de Tupi (Piracicaba, SP)**. 1994. 212f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F. Morfogênese dos solos de uma topossequência com transição B latossólico x B textural sobre migmatitos em Mococa (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.109-19, 1993.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F. Relações material de origem/solo e pedogênese em uma sequência de solos predominantemente argilosos e latossólicos sobre psamitos na Depressão Periférica Paulista. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.357-369, 1999.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4, p.145-192, 2005.

WILDING, L. P. Pedology. In: SUMMER, M. E. **Handbook of Soil Science**. New York: CRC Press, 2000, p.83-116.

WU, W.; FAN, Y.; WANG, Z.; LIU, H. Assessing effects of digital elevation model resolutions on soil-landscape correlations in a hilly area. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.126, p.209-216, 2008.

WYSOCKI, D. A.; SHOENEGER, P. J.; LAGARRY, H. E. Soil surveys: A window to the subsurface. **Geoderma**, Amsterdam, v.126, p.167-180, 2005.

WYSOCKI, D. A.; SHOENEGER, P. J.; LAGARRY, H. E. Geomorphology of soil landscapes. In: SUMMER, M. E. **Handbook of Soil Science**. New York: CRC Press, p.E5-E39, 2000.