

ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS SECUNDÁRIOS NO MAPEAMENTO DE PEDOFORMAS

Angelo Evaristo SIRTOLI ¹, Claudinei Taborda da SILVEIRA ², Claudionor Ribeiro da SILVA ³,
Luiz Eduardo MONTOVANI ⁴, Selma Regina Aranha RIBEIRO ⁵, Chisato OKA-FIORI ⁶

(1) Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná. Rua dos Funcionários, 1540.
CEP 80035-050. Curitiba, PR. Endereço eletrônico: asirtoli@ufpr.br

(2) Pós-Graduação de Geografia, Universidade Federal do Paraná. Rua dos Funcionários, 1540.
CEP 80035-050. Curitiba, PR. Endereço eletrônico: claudineits@pop.com.br

(3) Pós-Graduação de Ciências Geodésicas Universidade Federal do Paraná. Rua dos Funcionários, 1540.
CEP 80035-050. Curitiba, PR. Endereço eletrônico: bcrs@ufpr.br

(4) Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná. Rua dos Funcionários, 1540.
CEP 80035-050. Curitiba, PR. Endereço eletrônico: lem@ufpr.br

(5) Universidade Estadual de Ponta Grossa. Avenida General Carlos Cavalcanti, 4748 – Jardim das Américas.
CEP 84030-900. Ponta Grossa, PR. Endereço eletrônico: selma.aranha@pq.cnpq.br

(6) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná. Rua dos Funcionários, 1540.
CEP 80035-050. Curitiba, PR. Endereço eletrônico: chisato@ufpr.br.

Introdução
Material e Métodos
Resultados e Discussões
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – Com o objetivo de identificar e mapear pedoformas, a partir dos atributos topográficos secundários derivados de um Modelo Digital de Elevação, obteve-se os índices de umidade, de corrente de máximo fluxo e de capacidade de transporte de sedimentos. Após a discretização das unidades de solo por meio desses índices, o mapa temático resultante foi correlacionado com o mapa de unidades de mapeamento de solos previamente elaborado por técnicas tradicionais. Os mapas temáticos resultantes da aplicação dos índices foram combinados por meio de tabulação cruzada para delinear as pedoformas presentes na bacia do rio do Corvo, que representam as unidades preliminares de mapeamento dos solos. O processo de verificação foi realizado com quarenta e nove amostras de campo. A concordância com o mapa convencional foi de 66%, a discordância de 23,3% e 10,7% de indeterminação. O uso dos atributos topográficos secundários tornou a identificação menos subjetiva, uma vez que as unidades obtidas concordaram com significativo número de solos amostrados no campo e com o mapa tradicional. Assim, a delimitação preliminar de pedoformas orientadas pelos índices topográficos secundários, demonstrou coerência.

Palavras-chave: índice de umidade, índice de corrente de máximo fluxo, índice de capacidade de transporte de sedimentos, Modelo Digital de Elevação.

ABSTRACT – A.E. Sirtoli; C.T. da Silveira; C.R. da Silva, L.E. Montovani, S.R.A. Ribeiro, C. Oka-Fiori - *Secondary topographic attributes on the soilscapes mapping*. Trying to identify homogenous soilscapes, secondary topographical attributes were selected to delimitate the preliminary units of a soil map. The employed attributes were topographic wetness index, stream power and sediment transport capacity which were derived from Digital Elevation Model. These indexes were classified and the created classes were correlated with conventional mapping soil methodology. By crosstabulation these indexes were combined to predict the occurrence soilscapes in Rio do Corvo basin, a small watershed at upper Iguaçu river basin. At the present study, the identified soilscapes correspond to the preliminary units of soil mapping. These units were validated by comparing with others from a conventional map and checked with 49 samples from field survey. By overlapping these two maps, it was obtained an agreement for 66 % and disagreement for 23,3 % of mapped areas as well as an indefiniton for 10,7 % area. By using the selected topographical attributes, it was possible to improve the delineation process which became less subjective. The semiautomatic delimitation enhanced the soil class prediction compared to conventional methods by increasing the number of matched with samples field observations. Therefore, the preliminary delimitation unit of soil map guided by secondary topographical indexes, showed their own coherence.

Keywords: wetness index, stream power index, sediment transport capacity index, digital elevation model.

INTRODUÇÃO

O reconhecimento e detalhamento do espaço físico são fundamentais para subsidiar ações de planejamento e gestão territorial. Mapeamentos destinados a esse

fim utilizam dados do meio físico para definir unidades com características homogêneas na paisagem que tem como finalidade orientar levantamento de solos, apoiar

a identificação da vulnerabilidade de ambientes, no mapeamento de riscos geotécnicos, implantação de obras civis, dentre outros fins.

Em geral os métodos que definem unidades homogêneas, de acordo com um modelo morfológico, mostram potencial para melhorar a predição de ocorrência dos tipos de solos, visto que sua posição na paisagem influencia os processos de formação e os atributos pedológicos.

O uso de modelos de paisagem, como técnica auxiliar em levantamento de solos, constitui uma evolução no entendimento das relações solo-geomorfologia e, conseqüentemente, uma ferramenta importante para identificar e mapear áreas de solos homogêneos. Esses modelos auxiliam a quantificação morfológica da superfície terrestre que é essencial ao conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos que acontecem na paisagem. Blaszczyński (1997) afirma que a forma do terreno influencia o fluxo d'água, o transporte de sedimentos e poluentes, a natureza e a distribuição de habitats de plantas e animais, além de ser uma expressão dos processos geológicos e de intemperismo. Anjos et al. (1998) estudando a gênese de solos e suas relações com as paisagens no Sudeste do Brasil, afirmam que as superfícies geomórficas definem as taxas de intemperismo, o grau de desenvolvimento do solum e o comportamento dos fluxos de água.

Os modelos digitais de elevação (MDE) podem ser definidos como uma representação espacial da superfície do solo, a partir de pontos que descrevem a topografia do terreno ou a elevação tridimensional de uma grade de dados a intervalos regulares ou irregulares (Montgomery, 2003). O uso de MDE pode auxiliar o estabelecimento de relações da influência da topografia da hidrologia, das classes de declividade do terreno e da quantidade e tipo da vegetação sobre as classes de solos e, com isso, aperfeiçoar essas informações em levantamentos pedológicos, estabelecendo limites mais exatos sobre as classes de solos (Campos et al., 2006).

O alto custo de coleta de atributos do solo, em algumas posições na paisagem, tem criado a necessidade por métodos de inferência de propriedades de ar e água no solo, usando funções de pedotransferência (Bouma, 1989) ou substitutos mais econômicos, derivados de propriedades morfológicas dos solos (McKenzie et al., 1991). Os métodos substitutos usados atualmente são: textura, matéria orgânica, estrutura e densidade do solo. Métodos que organizam a superfície do terreno de acordo com modelos geomorfológicos formais de paisagem, e relações entre forma e paisagem mostram potencial para melhorar a predição de atributos do solo (Moore et al., 1993).

A posição geomorfológica do solo influencia a formação de seus horizontes e respectivas caracte-

rísticas. As relações entre atributos topográficos tais como: elevação, declividade, aspecto, área específica de contribuição, planos e perfil de curvatura e processos hidrológicos e erosionais que ocorrem na paisagem foram esboçados por (Moore et al., 1991).

Estudando relações entre as coberturas florestais e variáveis geomorfométricas, em ambientes topográficos distintos, Florinsky & Kuryakova (1996) concluíram que as propriedades da vegetação são dependentes dos parâmetros do relevo, os quais controlam a migração e acumulação de água na paisagem pela gravidade. Esses parâmetros são a curvatura da superfície, área de contribuição, índice de umidade e corrente de máximo fluxo. Observaram também que, dentre as variáveis geomorfométricas, a elevação se relacionou diretamente com a distribuição altitudinal de solos e, por conseguinte, de vegetação, pois as propriedades dos solos são dependentes das variáveis topográficas e transferem sua dependência para a vegetação que o recobre.

Atributos topográficos podem ser divididos em primários e secundários ou compostos. Atributos primários podem ser calculados diretamente do modelo digital de elevação (MDE) e incluem variáveis como elevação, declividade, plano e perfil de curvatura, caminho de fluxo e área específica de contribuição. Os atributos secundários ou compostos envolvem combinações de atributos primários e podem ser usados para caracterizar a variabilidade espacial de processos específicos que ocorrem na paisagem (Moore et al., 1993). Esses índices podem ser derivados empiricamente ou através de equações simplificadas descrevendo os processos físicos.

Os atributos topográficos secundários são parâmetros relacionados a processos de transportes de sedimentos e a movimento da água superficial e subsuperficial no solo e, conforme Moore et al. (1993) compreende o índice de umidade, índice de transporte de sedimentos e índice de corrente de máximo fluxo. Em estudo realizado pelos mesmos autores, o índice de umidade e a declividade foram os atributos do terreno altamente correlacionados com os atributos do solo medidos numa topossequência no Colorado. Individualmente, eles contribuíram com cerca da metade da variabilidade de vários atributos do solo, incluindo espessura do horizonte A, conteúdo de matéria orgânica, pH, P extraível e conteúdo de silte e areia. Igualmente, indicam a utilização desses atributos topográficos, como primeira etapa em levantamento de solos, destacando que resultaria de utilidade tanto na amostragem dos solos como no desenvolvimento de modelos de localização das pedoformas.

Park & Burt (2002) afirmam que atributos topográficos do terreno são os mais importantes indicadores da variação das propriedades dos solos, por isso o

entendimento do solo como um corpo natural que possui variação tridimensional e que se origina a partir da inter-relação dos fatores de formação e sob a ação dos processos pedogenéticos favorece a compreensão da geografia dos solos, assim como a predição do comportamento destes (Bockheim et al., 2005). Comentam ainda que, os solos de uma encosta variam em resposta ao movimento de água e ao transporte superficial de sedimentos, processos estes que são controlados pelas formas da superfície das vertentes.

Estudando as relações solo-geomorfologia em áreas de transição arenito-basalto e, relacionando a variabilidade espacial dos atributos do solo com os compartimentos de relevo, (Cunha et al., 2005) concluíram que as variações dos solos na transeção estudada mostraram-se, em grande parte, relacionada com a idade da superfície, com o material de origem e com a inclinação do terreno.

Clima, material parental, topografia, e fatores bióticos influenciam a formação do solo (Jenny, 1980), mas o clima, freqüentemente, mostra controle em escala média que é o interesse neste trabalho. O presente estudo justifica-se neste contexto, pois foi desenvolvido numa bacia hidrográfica com material parental relativamente uniforme, onde a maior proporção de variação local dos solos pode ser atribuída a mudanças no relevo. É razoável que, em muitas paisagens, a catenária desenvolvida dos solos ocorre em resposta a forma que a água se move através e

sobre as paisagens, respectivamente, fluxo superficial e subsuperficial. Martz & DeJong (1991) declararam que o padrão geral de associação entre perda de solos e classes de formas da paisagem suporta a afirmação acima que, a água é o agente modelador dominante na bacia hidrográfica. Eles constataram que baixa perda de solos foi associada com sítios de pouca área de contribuição e alta perda de solos foi associada com sítios de grande área de contribuição. As únicas exceções a essa tendência são as classes de terço médio de encosta, as quais têm pouca área de contribuição, mas moderadamente alta perda de solos. Todavia, constataram que sítios em classes de terço médio de encosta tinham declividades maiores que outros sítios em área de contribuição menores. Depressões superficiais com potencial para acúmulo esporádico de água interrompem esse padrão e produzem sítios de deposição.

Por isso, pode-se hipotetizar que, a distribuição espacial de atributos topográficos que caracterizam os caminhos do fluxo d'água influenciam na variabilidade dos atributos dos solos em mesoescala e, por consequência, nas classes de solos. Considerando esta hipótese, o trabalho tem como objetivos verificar os relacionamentos entre atributos topográficos secundários derivados de um modelo digital de elevação e dados de levantamento de solos convencional, na delimitação de pedoformas para mapeamento preliminar de solos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio do Corvo, com área de 447,3 ha, afluente do rio Canguiri. Localiza-se no município de Pinhais (PR) entre as coordenadas do Sistema UTM: 687254 a 689397 e 7191261 a 7189369, fuso 22 sul (Figura 1).

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio do Corvo, com área de 447,3 ha, afluente do rio Canguiri. Localiza-se no município de Pinhais (PR) entre as coordenadas do Sistema UTM: 687254 a 689397 e 7191261 a 7189369, fuso 22 sul (Figura 1).

Segundo Santos et al. (2007), a bacia do rio do Corvo está inserida na sub-unidade morfoescultural Planalto de Curitiba, cuja dissecação é moderada composta por topos alongados e aplainados, vertentes convexas e formas de relevo predominantemente onduladas a suave onduladas.

Os procedimentos para o desenvolvimento do trabalho estão apresentados em etapas no diagrama de blocos apresentado na (Figura 2).

Além de observações e coletas de solo em campo com descrição morfológica Santos et al. (2007) e amos-

tragem de perfis para caracterização química e granulométrica, foram utilizados dados de Sugamoto (2003), Lima (2005) e Rocha (1990). As unidades de mapeamento de solos foram agrupadas no nível de ordem, de acordo com EMBRAPA (2006).

A entrada de dados, para a geração do modelo digital de elevação, foi a partir das informações extraídas de carta topográfica da Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – COMEC (1976), na escala 1:10.000 e incluíram as curvas de nível com equidistância vertical de 5 metros e pontos cotados. A base de dados foi gerada e processada nos programas computacionais *ArcView* versão 3.2 e *Matlab* 6.5.

O modelo digital de elevação (MDE) foi gerado com uma grade regular com 5 m. Do MDE foram calculados os índices topográficos secundários (índice de corrente de máximo fluxo, umidade e de transporte de sedimentos), por meio de uma janela, ou submatriz, com nove nodos (Figura 3), segundo Moore et al. (1993). Para tanto, foi executada uma varredura com essa janela, sobre o conjunto total de dados

(Figura 3A), que representam a área estudada. No processo de convolução são computados os valores

dos índices por meio das equações 1, 4 e 5, apresentadas a seguir.

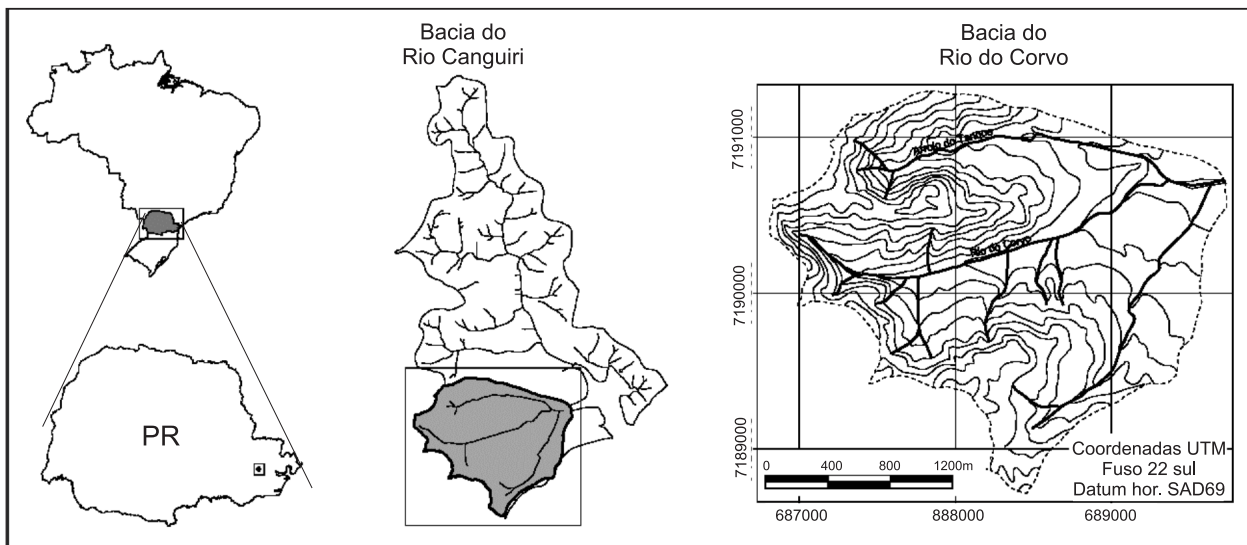


FIGURA 1. Localização da área de estudo.

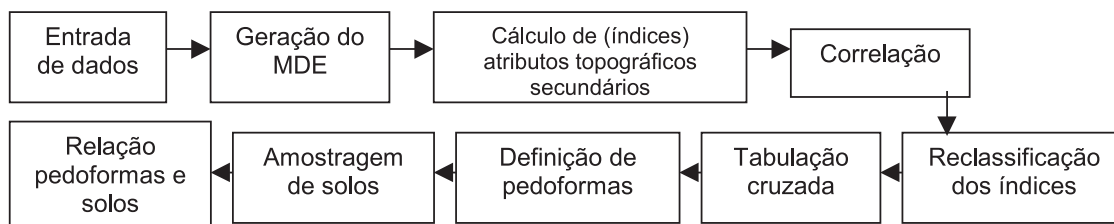


FIGURA 2. Diagrama de blocos das etapas do trabalho.

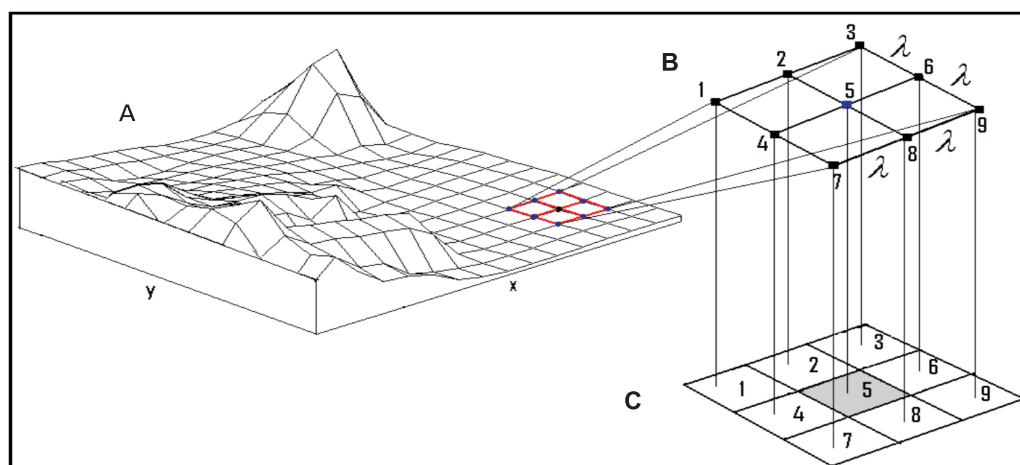


FIGURA 3. (A) Grade regular da superfície do solo. (B) Janela com nove nodos. (C) Janela com nove pixels.

Observa-se na Figura 3 (B) que a dimensão, ou resolução da grade é de λ m. A Figura 3 (C) mostra a representação da grade na forma matricial. Isto é, cada ponto ou nodo da grade é transformado em um *pixel*. Cada *pixel* possui um valor correspondente à elevação do ponto e uma resolução de λ m. De posse dessa informação os três índices supracitados podem ser descritos da seguinte forma:

a) Índice corrente de máximo fluxo (Ω)

$$\Omega = A_s \tan \beta \quad (1)$$

onde, A_s é a área específica de contribuição para o ponto central da janela (ponto 5 na Figura 3 C). Isto é, $A_s = (3\lambda * 3\lambda)$. O ângulo β é dado em graus e é calculado pela equação 2.

$$\beta = \arctan(\sqrt{p}) \quad (2)$$

onde, p é definido por aproximações das diferenças finitas, por meio das derivadas parciais f_x e f_y , nas direções de x e y (ortogonais entre si), respectivamente. Assim, sendo Z_i o valor da elevação do nodo i , p é determinado de acordo com a equação 3, representando a inclinação local do terreno.

$$f_x = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Z_6 - Z_4}{2\lambda}, \quad f_y = \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{Z_2 - Z_8}{2\lambda} \quad e,$$

$$p = f_x^2 + f_y^2 \quad (3)$$

Analisando a equação 1 verifica-se que o índice de corrente de máximo fluxo é função apenas de β , uma vez que a área específica (A_s) é constante para qualquer ponto. Portanto, Ω (β) varia de acordo com a função tangente (Figura 4). Isto é, não existe valor de Ω para $\beta = 90^\circ$. Isso faz sentido, pois, com esse ângulo de inclinação, o fluido perderia contato com o solo.

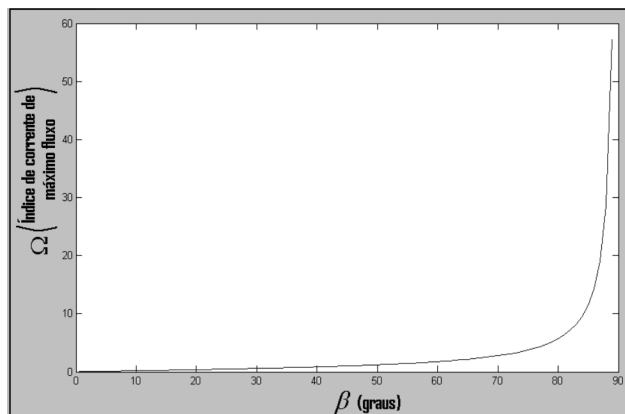


FIGURA 4. Gráfico da função do índice de corrente de máximo fluxo.

b) Índice de umidade (ω)

$$\omega = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right) \quad (4)$$

Este índice é definido pelo logaritmo natural da razão entre a área específica (A_s) e a tangente do ângulo β (em graus). A equação 4 mostra que o índice de umidade, igualmente ao índice corrente de máximo fluxo, é função apenas de β . Entretanto, o ω não varia somente com a função tangente, mas, também, com o logaritmo natural. Assim, além das observações feitas para o índice de corrente de máximo fluxo, é adicionada, para o índice de umidade, a seguinte restrição: $0^\circ < \beta < 90^\circ$. Observando a Figura 5 percebe-se que quando β aproxima de 0° , o limite dessa função (equação 4) tende a infinito e, quando β aproxima de 90° , o limite tende a zero. O significado físico desse comportamento é que quanto mais plana for a superfície ($\beta \rightarrow 0$) mais úmido é o solo (valores elevados de ω) portanto, mostra-se útil na identificação de solos com caráter hidromórfico ou áreas de baixada com acúmulo de umidade.

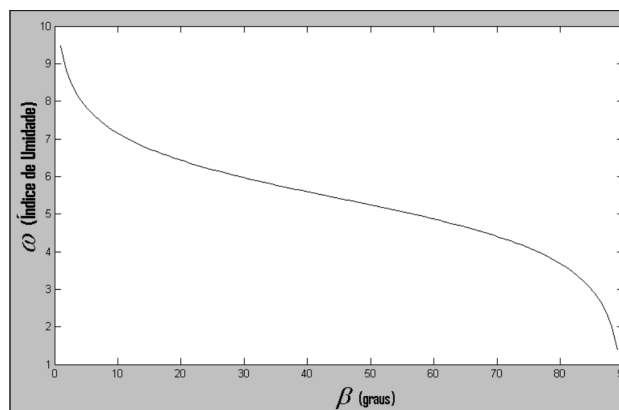


FIGURA 5. Gráfico da função do índice de umidade.

c) Índice capacidade de transporte de sedimentos (τ)

$$\tau = \left(\frac{A_s}{22.13}\right)^m \left(\frac{\text{sen}\beta}{0.0896}\right)^n \quad (5)$$

onde m e n são constantes com valores, respectivamente, de 0.6 e 1.3.

Este índice, que mensura a capacidade de transporte de sedimentos, também é função apenas de β , porém, se m e n forem mantidos constantes. Esse índice varia com uma senoidal, conforme aponta a equação 5. Como se trata de elevação de superfície,

as restrições, nesse caso, são apenas da condição de existência de β , ou seja, $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$. A Figura 6 ilustra o gráfico da equação 5. Observa-se nesse gráfico que quanto maior a declividade do terreno maior é a capacidade de transporte de sedimentos e, por consequência, os solos formados nessa condição serão menos desenvolvidos. Neste sentido, Phillips (2001) afirma que a intensa remoção do material do solo, através do fluxo superficial de água convergente, e em menor proporção pelo movimento de massa são os principais responsáveis pela limitação continuada de desenvolvimento dos solos.

Os índices de corrente de máximo fluxo e de transporte de sedimentos são originados do perfil de curvatura do terreno. Isto é, são dependentes da mudança do potencial do gradiente. O índice de umidade, porém, depende do plano de curvatura. O plano de curvatura é responsável pela medida de convergência e/ou divergência e, ainda, pelo acúmulo de água no solo.

Os atributos topográficos secundários, assim calculados, foram analisados estatisticamente visando

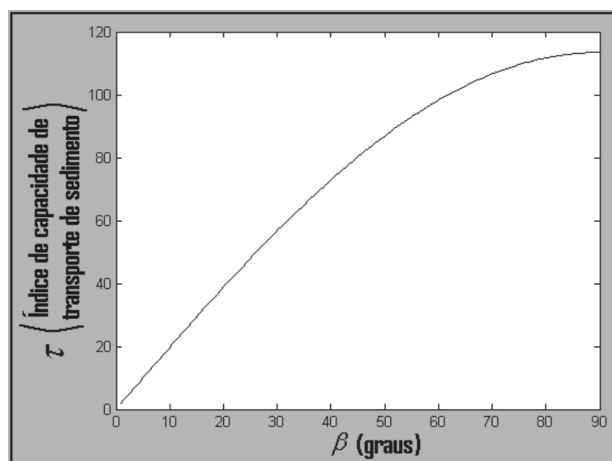


FIGURA 6. Gráfico da função do índice de transporte de sedimentos.

observar se havia correlação entre os mesmos, e através de tabulação cruzada foi verificada sua relação com as classes de solos mapeadas por metodologia convencional na bacia hidrográfica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa preliminar de solos foi elaborado a partir de metodologia tradicional de levantamento, com utilização de fotografias aéreas e análise estereoscópica para o delineamento manual das unidades de solo-paisagem. As unidades de mapeamento delineadas foram organizadas em nível de ordem, estando presentes na bacia: Cambissolos, Latossolos, Associação Latossolos + Cambissolos e solos de caráter hidromórfico (Organossolos + Gleissolos).

Na Tabela 1 estão apresentados os coeficientes de correlação entre índices secundários calculados para a bacia. A partir dessa matriz é possível observar que o índice de capacidade de transporte de sedimentos e o índice de corrente de máximo fluxo são altamente correlacionados, pois se aproximam de uma reta. Isso é explicável, pois ambos são dependentes do ângulo β , isto é, são originados do perfil de curvatura do terreno e, são dependentes da mudança do potencial do gradiente. Essa alta correlação, nos maiores valores desses índices, indica solos com menor grau de desenvolvimento, pois quanto maior o fluxo maior será o transporte de sedimentos e por consequência há predomínio da morfogênese sobre a pedogênese. No outro extremo, a correlação entre os menores valores está associada a solos mais desenvolvidos com predomínio da pedogênese ou, de caráter hidromórfico quando localizados em áreas de baixadas ou várzeas.

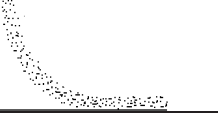

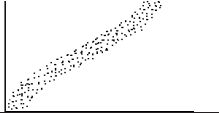
O índice de umidade (ω) está negativamente correlacionado com o índice de corrente de máximo

fluxo (Ω) e de capacidade de transporte de sedimentos (τ), pois o primeiro depende do plano de curvatura que é responsável pela medida de convergência e/ou divergência e, conseqüentemente, pelo acúmulo de água na paisagem (Moore et al., 1993). Concordando com tal afirmativa, Odeh et al. (1991) demonstraram que a declividade e a curvatura explicam grande parte da variabilidade dos solos.

O índice corrente de máximo fluxo (Ω) foi discretizado em quatro classes: 0-5 (Ω_1), 6-15 (Ω_2), 16-30 (Ω_3) e 31-152 (Ω_4). Essa classificação foi orientada nas declividades da área e unidades de solos já mapeadas, onde foi observado que os menores índices estão associados, principalmente, a áreas de baixada e várzea, onde ocorrem, predominantemente, solos hidromórficos e semi-hidromórficos. Os solos hidromórficos são solos com gênese relacionada à saturação hídrica plena durante períodos significativos no ano, com subsequente morfologia expressa por processos de redução (gleização e/ou mosqueados) dentro de 50 cm de profundidade. Os semi-hidromórficos são solos cuja formação está relacionada à presença do caráter gleico, eventualmente podendo ser identificado o regime hídrico de saturação plena do solo, porém em curtos períodos do ano (Curcio, 2006).

Nos pedimentos inferiores ou nas partes elevadas, em interflúvios preservados, com predomínio de Latossolos e Cambissolos Latossólicos, também predominam valores baixos do índice. Os valores mais elevados

TABELA 1. Matriz de correlação entre os índices topográficos secundários.

	Índice de umidade	Índice de corrente de máximo fluxo	Índice de capacidade de transporte de sedimentos
Índice de umidade	1	- 0.7137	- 0.662
Índice de corrente de máximo fluxo		1	0.9933
Índice de capacidade de transporte de sedimento			1

coincidem com vertentes mais declivosas, encontrando-se, normalmente, nessas superfícies, solos mais jovens e/ou menos evoluídos, tais como os Cambissolos. Os índices com valores intermediários situam-se nas declividades moderadas com ocorrência de Associações de Latossolos + Cambissolos. Estes solos são caracterizados como não-hidromórficos, isto é, com gênese relacionada à não-saturação hídrica (Curcio, 2006).

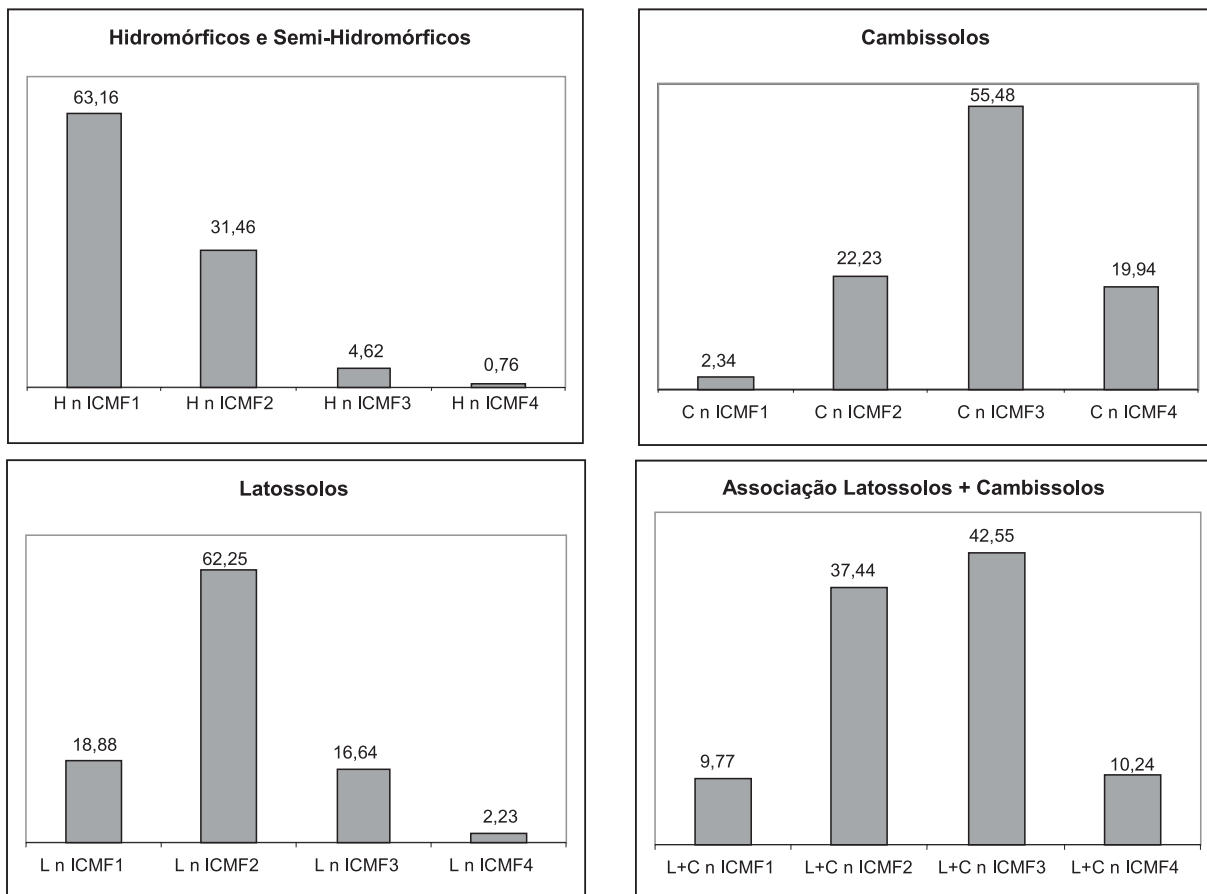
O índice de corrente de máximo fluxo é função apenas de β , uma vez que a área específica (A_s) é constante para qualquer ponto. Portanto, o índice varia de acordo com a função tangente. Isto é, não existe valor para $\beta = 90^\circ$. Outrossim, Gallant & Wilson (2000) afirmam que, um dos principais fatores determinantes para a formação dos solos é a declividade, considerada como um dos mais importantes atributos topográficos primários que controlam os processos pedogenéticos, afetando diretamente a velocidade do fluxo superficial e subsuperficial de água e, conseqüentemente, o teor desta no solo, o potencial de erosão/deposição, e muitos outros processos importantes na formação dos solos. Nesse sentido, havendo mudança do índice na paisagem, as propriedades dos solos mudam e, por consequência as respectivas classes de solos. Para Daniels & Hammer (1992), dentre os processos da vertente, os que mais afetam as propriedades do solo são a quantidade, fluxo e distribuição sazonal da água. Estes autores afirmam que o fluxo de água, superficial e subsuperficial, ao longo da vertente, é o principal responsável pela variabilidade espacial dos solos.

Na área estudada, verificou-se que a intersecção dos valores discretizados do índice, com valores mais baixos, (classe $\Omega 1$) está 63,16% coincidente com os limites dos solos de caráter hidromórficos identificados no mapeamento convencional. Os Cambissolos encontram-se 56,48% na (classe $\Omega 3$), enquanto que

os Latossolos encontram-se 62,25% na classe $\Omega 3$ e a Associação Latossolos + Cambissolos estão distribuídos nas classes $\Omega 2$, e $\Omega 3$. A classe $\Omega 4$, não teve significativa intersecção com nenhuma das classes de solos, pois o relevo da região é predominantemente suave ondulado a ondulado, representando o modelamento de rampas desenvolvidas sobre a Formação Guabirrotuba (Curcio et al., 2006). (Figura 7).

Os valores do índice de umidade (ω) foram discretizados em dois intervalos entre 0 a 11 e denominado como $\omega 1$, e os valores superiores a 11 como $\omega 2$. Outras classificações não apresentaram relações adequadas com os solos mapeados na área, principalmente os de caráter hidromórfico, portanto, nesses intervalos, observou-se uma estreita relação da classe $\omega 2$ com solos de várzea, com características hidromórficas e semi-hidromórficas, e a classe $\omega 1$ com solos não-hidromórficos. Moore et al. (1993), encontraram significativa correlação entre o ω com os atributos do solo medidos, onde este índice, juntamente com a declividade, contribuiu para explicar aproximadamente metade da variabilidade na espessura do horizonte A, teor de matéria orgânica, pH, P extraível e teores de silte e areia. Uma vez que, a delimitação das unidades de mapeamento de solos se orienta nas características do meio físico e nas propriedades dos solos, este índice pode auxiliar na delimitação de unidades de mapeamento e melhorar limites de mapas pré-existentes.

As classes do ω sobrepostas às unidades mapeadas de solos de forma convencional demonstraram intersecção de 72% dos solos de caráter hidromórfico com a classe $\omega 2$. Lima (2005), observou que as unidades de solos com características de hidromorfia ocupavam áreas amplas e aplainadas em diversas fisionomias das planícies aluviais da bacia do rio Canguiri. Outrossim, destaca que o relevo destas unidades de mapeamento é predominantemente plano.



Legenda: ICMF = Ω

FIGURA 7. Relação das unidades de mapeamento de solos com Índice de Corrente de Máximo Fluxo.

Irvin et al. (1997) também identificaram áreas contíguas de paisagem com alto e baixo índice de umidade.

Em relação aos solos não hidromórficos, 97% dos Cambissolos, 83% dos Latossolos e 100% da Associação Latossolo + Cambissolo apresentaram intersecção com a classe $\omega 1$ (Figura 8). Os Latossolos fazem limite com as unidades de solos de caráter hidromórfico e, se localizam também em relevo plano (Lima, 2005), por isso, essa unidade, apresentou menor percentual de intersecção com a classe $\omega 1$, enquanto que os Cambissolos e Associação Latossolos + Cambissolos obtiveram maior percentual de sobreposição com $\omega 1$. Por outro lado, estes se localizam em posições mais elevadas e inclinadas das vertentes. Segundo Lima (2005) os Cambissolos se localizam em encostas com relevo predominantemente ondulado e nos interflúvios relativamente estreitos, onde não há, em geral, condições para a formação de solos mais evoluídos, como os Latossolos.

Os valores do índice capacidade de transporte de sedimentos foram separados em cinco classes: 0 ($\tau 1$), 1 ($\tau 2$), 2-3 ($\tau 3$), 4-6 ($\tau 4$) e 7-44 ($\tau 5$) e para tanto, considerou-se os mesmos aspectos adotadas na discre-

tização do índice de corrente de máximo fluxo.

As classes do índice de capacidade de transporte de sedimentos foram sobrepostas às unidades de solos mapeadas de forma tradicional. Obteve-se intersecção de 43,49% e 43,04% dos solos de caráter hidromórfico com as classes $\tau 1$ e $\tau 2$. Intersecção de 43,27% dos Cambissolos com a classe $\tau 4$, 39,97% e 39,06% dos Latossolos com as classes $\tau 2$ e $\tau 3$, respectivamente. Intersecção de 34,20% e 30,74% da Associação Latossolo + Cambissolo com as classes $\tau 3$ e $\tau 4$, respectivamente (Figura 9).

Os índices com valores superiores coincidem com vertentes mais declivosas, encontrando-se normalmente nessas superfícies solos mais jovens e/ou menos evoluídos, como Cambissolos. Os índices com valores intermediários localizam-se nas declividades moderadas e pequenas com ocorrência de Latossolos e Associações de Latossolos + Cambissolos, concordando com Lima (2005) que afirma, os Latossolos são encontrados em pedimentos amplos, entre as encostas e a planície aluvial. Os valores mais baixos desse índice estão associados com solos de caráter hidromórfico.

Pela identificação de atributos da paisagem, os

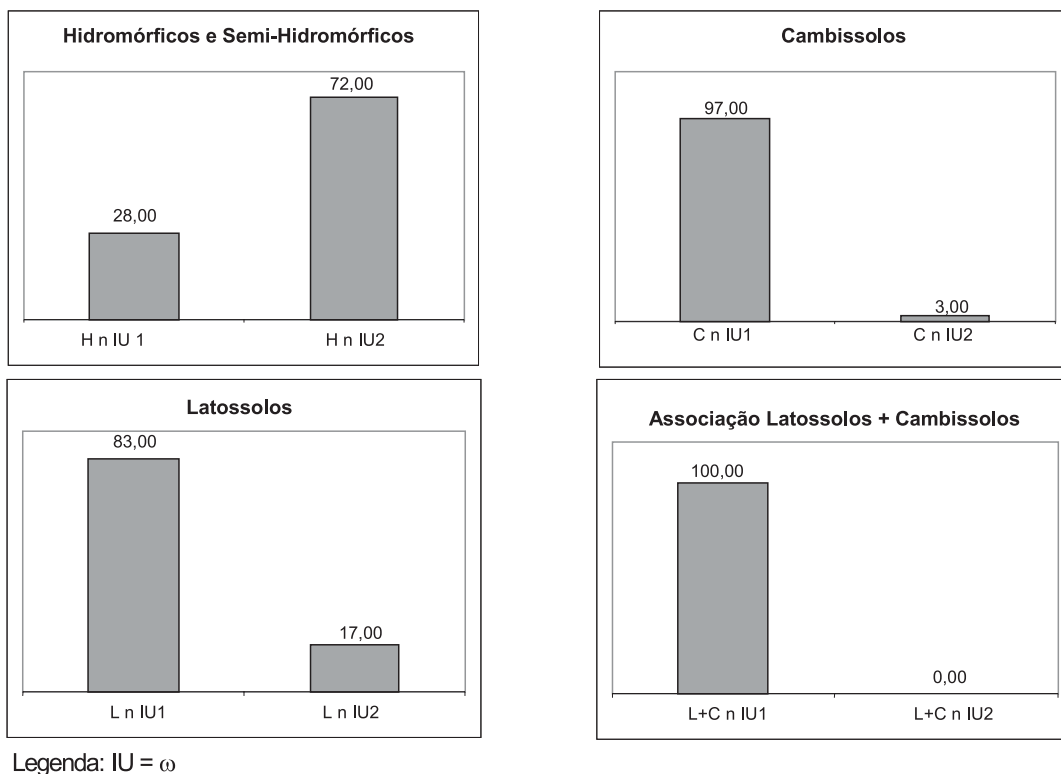


FIGURA 8. Relação das unidades de mapeamento de solos com índice de umidade.

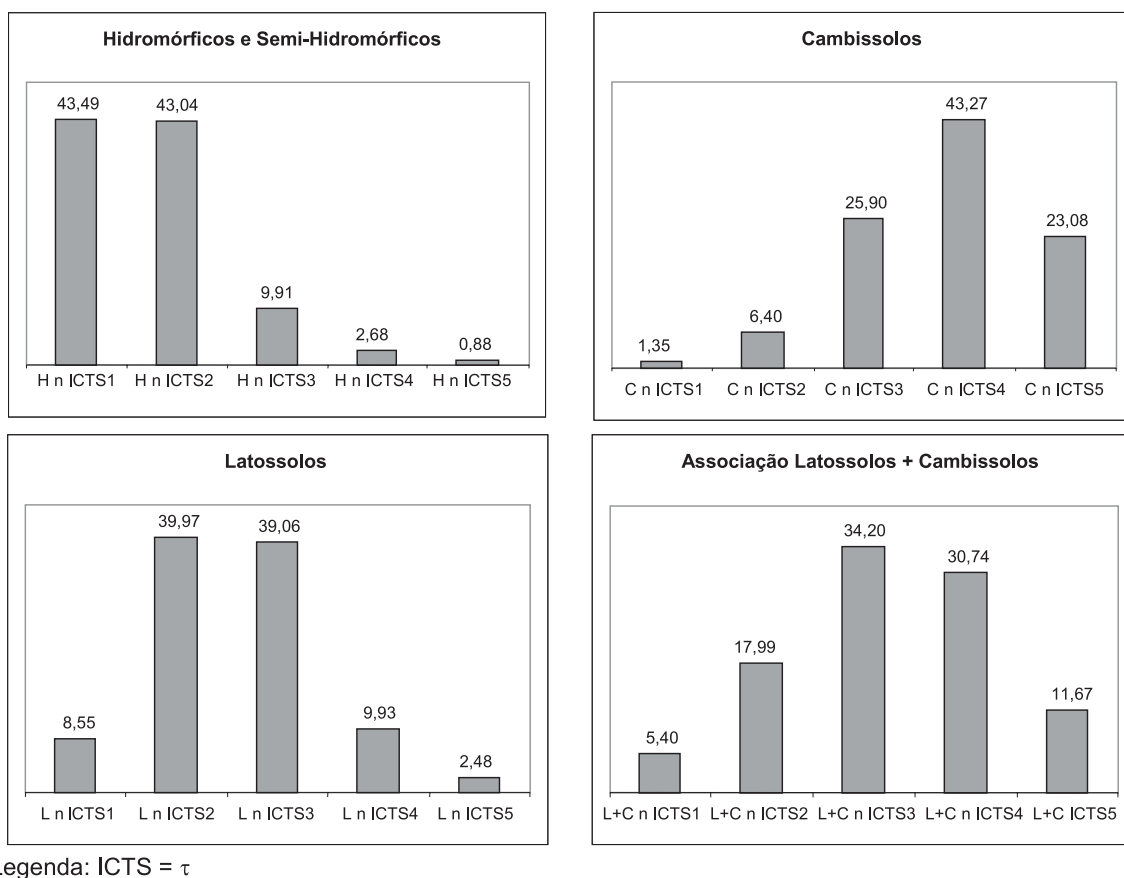


FIGURA 9. Relação das unidades de mapeamento de solos com índice de capacidade de transporte de sedimentos.

solos são agrupados em unidades de mapeamento preliminares as quais acredita-se conter solos similares (Hudson, 1992). A posição do solo na paisagem pode ser considerada uma aproximação geográfica para classificação, na qual combinações de atributos superficiais e a estratigrafia são usados para identificar populações de solos dentro da paisagem (Ruhe, 1956). Assim, é possível deduzir que uma classe taxonômica de solos contém atributos que são correlacionados com a forma da paisagem e/ou outro atributo superficial identificável dentro da paisagem particular do solo (Young & Hammer, 2000). Considerando estas afirmações, a definição das pedoformas predominantes

que constituem as unidades preliminares de mapeamento de solos foi obtida por meio da interseção dos índices topográficos secundários.

As pedoformas que representam as unidades de solos de caráter hidromórfico resultaram da integração da classe $\omega 2$ com as classes $\Omega 1$ e $\Omega 2$. As unidades de Cambissolos foram obtidas pela integração entre as classes $\omega 1$, $\Omega 3$, $\Omega 4$, $\tau 4$ e $\tau 5$. As pedoformas de Latossolos resultaram da integração das classes $\omega 1$, $\Omega 2$, $\Omega 3$, $\tau 2$ e $\tau 3$ e, as demais áreas que não foram contempladas pelas combinações já mencionadas representam paisagens de solos não caracterizadas pelos índices aqui propostos (Figura 10 A, B e C).

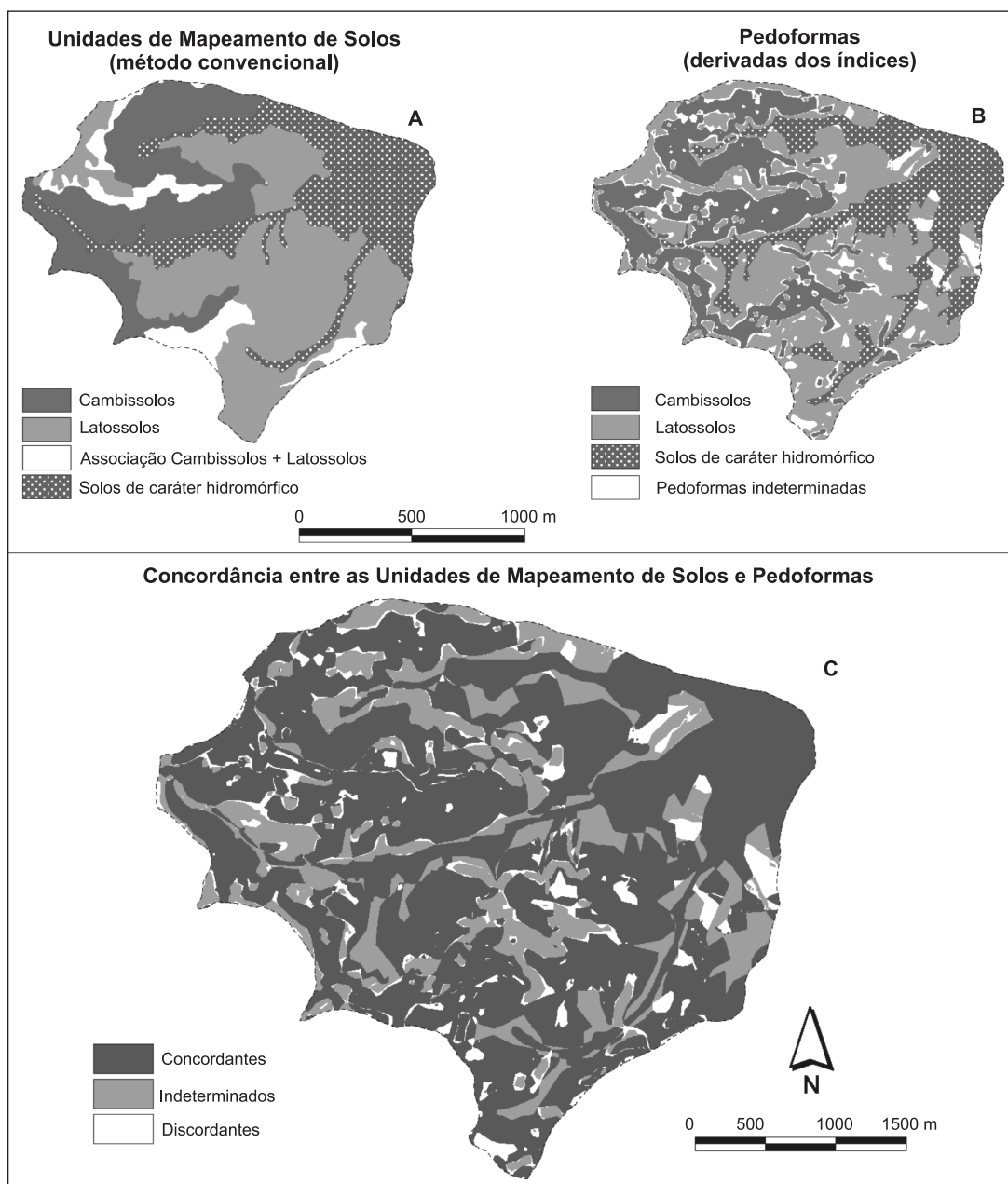


FIGURA 10. Comparação entre: (A) unidade de mapeamento de solos; (B) pedoformas; (C) concordância entre as unidades.

Portanto, a análise dos atributos topográficos secundários derivados de MDE resultou em unidades preliminares de mapeamento de solo, seguindo a recomendação de Moore et al. (1993), que indicam a utilização da análise de MDE, derivando índices topográficos primários e secundários, como primeira etapa nos levantamentos de solos, destacando que resultam de utilidade tanto na amostragem, como no desenvolvimento de modelos de localização de pedoformas. Irvin et al. (1997), demonstraram também utilização de atributos derivados de MDE e sua classificação para a delimitação automática de geofor- mas e concluíram que, o uso de métodos de classifica- ção numérica para identificação destas provou ser uma técnica promissora.

Ippoliti et al. (2005) concluíram que o principal mérito da análise digital do terreno foi a maior eficiência obtida no trabalho de campo, após a realização de uma classificação digital preliminar, em virtude de um modelo de ocorrência de solos previamente conhecido. Contudo, observam também a importância da checagem de campo, de modo não só a observar variações não evi- dentes no material cartográfico, mas também promover ajustes, onde necessário.

Para averiguar a adequabilidade da delimitação das unidades preliminares (pedoformas), geradas a partir dos índices topográficos secundários, foram avaliadas quarenta e nove amostras de campo (Tabela 2), bem como uma análise de concordância com o mapa de solos elaborado por metodologia convencional.

As amostras de solos avaliadas (Figura 11) que coincidem com a delimitação da unidade de solos de caráter hidromórfico são: 9, 32, 43, 47 e 49. Destas, as amostras 9 e 32 não correspondem aos solos dessa unidade, sendo a primeira um Cambissolo Háplico Alumínico Tb Distrófico típico e a segunda um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbico, isso ocorreu por que tais amostras estão nos limites entre as duas unidades de mapeamento. O mesmo ocorre com as amostras: 44, 45 e 46 que correspondem a Gleissolo Melânico Alumínico típico e, a amostra 48, que corresponde a Organossolo Mésico Sáprico típico, que não coincidiram com a unidade mapeada de caráter hidromórfico, porém estão situadas nos limites da unidade.

Na pedoforma delineada como unidade de Cam- bissolos as amostras analisadas que coincidiram com este delineamento foram: 3, 4, 5, 11, 16 17, 18, 23, 28 e 29. Uma das amostras, 36, corresponde a um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbico, que pode ser considerada como uma inclusão nessa unidade de mapeamento. Outrossim, é importante salientar que, sobre a Formação Guabirotuba, os Cambissolos e Latossolos ocorrem concomitantemente em relevo

aplainado e são morfologicamente semelhantes, sendo que o segundo se diferencia, quase que exclusivamente, por apresentar $CTC < 17 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ de argila. Nesse sentido, Lima (2005) comenta que Cambissolos, a exemplo das amostras 1 e 2 (Tabela 2) tem comporta- mento próximos a Latossolos em termos de risco a erosão, apesar de ter argila de atividade alta (Ta) e não possuir estrutura tão desenvolvida, principalmente pelo fato destas unidades de solos serem bem drenados, profundos e estarem localizados em relevo suave ondulado. Young & Hammer (2000), explicam que a alta variabilidade taxonômica reportada em muitos mapas de solos indicam que algumas unidades de mapeamento contêm numerosas paisagens, ou os grupos taxonômicos de solos não coincidem com as formas da paisagem, ou ambos.

Na pedoforma delineada como Latossolo, as amostras coincidentes a essa classe são: 31, 33, 34, 40 e 41. Notou-se que dentre as amostras, os Cambissolos com caráter latossólico foram inclusos em grande número nessa unidade, amostras: 19, 20, 21, 24, 26 e 27. Tais solos, Cambissolos com caráter latossólico, apresentam horizonte B incipiente, porém com características similares às do B latossólico sem, contudo atender aos requisitos para B latossólico (EMBRAPA, 2006) e, ocorrem em paisagens seme- lhantes sobre a Formação Guabirotuba.

A unidade dos Latossolos apresentou ainda intersecção com amostras de Cambissolo Háplico Alumínico Ta Distrófico típico, Cambissolo Háplico Alumínico Tb Distrófico típico e Cambissolo Háplico Alumínico típico, nas amostras: 1, 2, 7, 8, 12, 13, 14 e 15. A presença dessas inclusões demonstra limitação dos índices aqui adotados e indicam a necessidade de utilizar outros atributos da paisagem para uma melhor delimitação entre os Latossolos e Cambissolos sobre a Formação Guabirotuba. Outrossim, indicam que, estes índices não são suficientes para distinção dessa unidade de solos na área estudada. Esses resultados concordam com a afirmação de Nanni e Rocha (1997) que, torna- se cada vez mais necessário introduzir, na pesquisa cartográfica dos solos, elementos que possam auxiliar os procedimentos básicos de delimitação das unidades de paisagem, permitindo-se a redução da subjetividade nessa tarefa. Por outro lado, é importante observar que, a cartografia tradicional de solos é baseada num modelo discreto da variabilidade espacial do solo, onde esse modelo assume que os tipos de solos mudam abruptamente em seus limites. Nesse sentido, a adoção de um modelo contínuo que assume que o solo varia gradualmente no espaço poderia ser adotado para uma predição mais adequada dos solos nessa bacia.

Na unidade caracterizada como classe indeter- minada, ocorrem quatro amostras: a 6 que representa

TABELA 2. Classes de solos (EMBRAPA, 2006) e suas localizações.

Amostras	Classe de solos	UTM X	UTM Y
1	CXvd - Cambissolo Háplico Alumínico Ta Distrófico típico	688846	7189820
2	CXvd - Cambissolo Háplico Alumínico Ta Distrófico típico	688765	7189720
3	CXbd - Cambissolo Háplico Alumínico Tb Distrófico típico	687706	7190631
4	CXbd - Cambissolo Háplico Alumínico Tb Distrófico típico	687653	7190739
5	CXbd - Cambissolo Háplico Alumínico Tb Distrófico típico	687232	7190410
6	CXbd - Cambissolo Háplico Alumínico Tb Distrófico típico	686805	7190393
7	CXbd - Cambissolo Háplico Alumínico Tb Distrófico típico	688377	7189552
8	CXbd - Cambissolo Háplico Alumínico Tb Distrófico típico	688408	7189620
9	CXbd - Cambissolo Háplico Alumínico Tb Distrófico típico	688477	7189376
10	CXa - Cambissolo Háplico Alumínico típico	687411	7189792
11	CXa - Cambissolo Háplico Alumínico típico	687275	7189957
12	CXa - Cambissolo Háplico Alumínico típico	688141	7191231
13	CXa - Cambissolo Háplico Alumínico típico	688002	7190968
14	CXa - Cambissolo Háplico Alumínico típico	688172	7190805
15	CXa - Cambissolo Háplico Alumínico típico	688703	7190027
16	CXa - Cambissolo Háplico Alumínico típico	688002	7190441
17	CXa - Cambissolo Háplico Alumínico típico	688267	7190497
18	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	687183	7190085
19	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	687872	7189935
20	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	687425	7190211
21	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	688571	7190645
22	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	687928	7189704
23	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	687955	7189594
24	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	688579	7189826
25	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	688034	7189368
26	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	688707	7190676
27	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	688327	7190664
28	CXbd - Cambissolo Háplico Tb Eutrófico típico	687782	7190666
29	CHd - Cambissolo Húmico Distrófico típico	688198	7190513
30	CHd - Cambissolo Húmico Distrófico típico	687420	7190407
31	LVA d - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico	688895	7190116
32	LVA d - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbico	689275	7189771
33	LVA d - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbico	687285	7190559
34	LVA d - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbico	687116	7190614
35	LVA d - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbico	687308	7190940
36	LVA d - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbico	688942	7189315
37	LVA e - Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico câmbico	689229	7189374
38	LVd - Latossolo Vermelho Distrófico câmbico	688931	7189227
39	LVd - Latossolo Vermelho Distrófico câmbico	686815	7190643
40	LVd - Latossolo Vermelho Distrófico câmbico	687877	7189838
41	LVd - Latossolo Vermelho Distrófico típico	688967	7190142
42	LVE - Latossolo Vermelho Eutrófico câmbico	689058	7189280
43	GXvd - Gleissolo Háplico Ta Distrófico típico	687783	7190048
44	GMa - Gleissolo Melânico Alumínico típico	688638	7189204
45	GMd - Gleissolo Melânico Distrófico típico	689077	7190347
46	Gme - Gleissolo Melânico Eutrófico típico	687901	7190868
47	OYs - Organossolo Mésico Sápico típico	688964	7189479
48	OYs - Organossolo Mésico Sápico típico	688078	7190095
49	OYs - Organossolo Mésico Sápico típico	688533	7190235

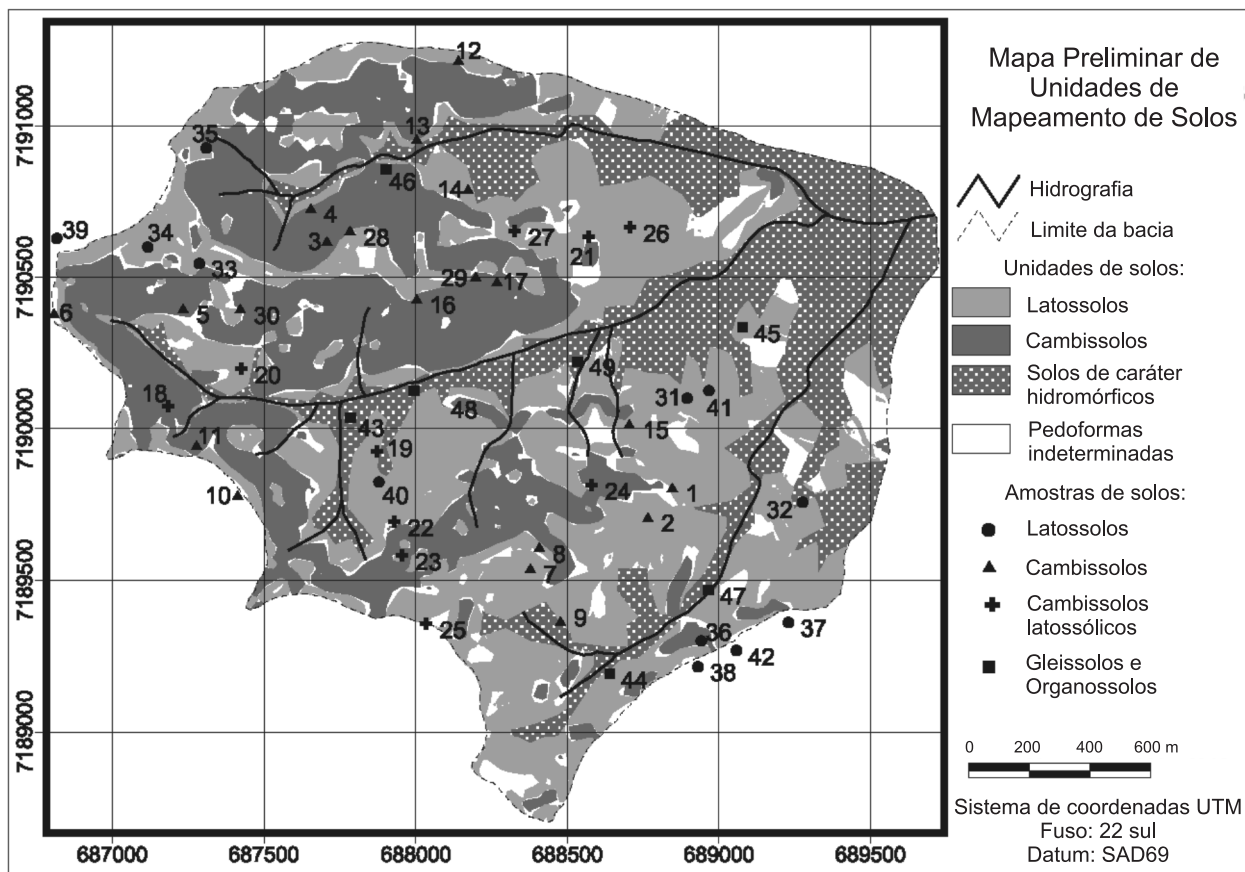


FIGURA 11. Mapa Preliminar de Unidades de Mapeamento de solos da bacia do rio do Corvo, com base nas pedofomas resultantes dos índices topográficos.

o Cambissolo Háptico Alumínico Tb Distrófico típico, 22 que corresponde a Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico, 30 Cambissolo Húmico Distrófico típico e 35 com Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbico.

Após o delineamento preliminar das pedofomas, com os índices utilizados, foi possível uma avaliação deste mapa com o de unidades de mapeamento de solos gerado de forma convencional. Foi observada uma concordância de 66% e, discordância de 23,3%.

Outrossim, houve também 10,7% de áreas que os índices não conseguiram caracterizar (Figura 10C). Esses resultados indicam que, a concordância foi boa, porém, a discordância e áreas não caracterizadas demonstram que as unidades delineadas no mapa de referência não são homogêneas, conforme apresentado na discussão das unidades delineadas com as mostras de campo. Porém, o delineamento das pedofomas teve um maior detalhamento com a utilização dos índices aqui propostos.

CONCLUSÕES

A forma da paisagem está associada à distribuição de processos hidrológicos e por consequência aos processos de erosão, sedimentação, decomposição e formação de horizontes do solo, desse modo, a identificação de áreas com formas de paisagem homogênea, pedofomas, indica a ocorrência de associações únicas de solos.

O uso dos índices propostos para a separação e delimitação das pedofomas se demonstrou satisfatório, pois possibilitou sua delimitação sem subjetividade. Além

disso, as unidades previstas coincidiram com um significativo número de amostras de campo. Assim, a delimitação preliminar das unidades de mapeamento de solos, orientada nos índices topográficos secundários, demonstrou coerência.

Os solos descritos através do levantamento de campo puderam confirmar a homogeneidade da maioria das unidades definidas pela metodologia.

O uso exclusivo dos índices topográficos secundários demonstrou ser insuficiente, principalmente, na

distinção entre os Latossolos e Cambissolos sobre a Formação Guabirotuba, sendo necessário, considerar outros componentes da paisagem ou variáveis ambientais. Por outro lado, é recomendável a integração das variáveis ambientais na predição das pedoformas através de métodos numéricos que possuam a característica de integração de dados, como redes neurais artificiais.

Pela implementação da técnica aqui adotada, o levantamento de solos pode ser facilitado, pois através

dela é possível determinar quais áreas necessitam de um trabalho de campo mais intensivo, como também reduzir exigências de amostragens dentro de área homogêneas e delinear unidades de paisagem objetivamente onde há uma correspondência grande entre os atributos do terreno e os solos. Igualmente, pode prover bases para extrapolação da informação gerada para áreas assemelhadas, bem como prover uma base consistente e repetível para investigação da relação solos paisagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANJOS, L.H.; FERNANDES, M.R.; PEREIRA, M.G.; FRANZMEYER, D.P. Landscape and pedogenesis of an Oxisol-Inceptisol-Utisol sequence in Southeastern Brazil. *Soil Science Society American Journal*, v. 62, p. 1651-1658, 1998.
2. ARCVIEW GIS. *The geographic information system for everyone*. Environmental Systems Research Institute, Inc. Version 3.2, 1996.
3. BLASZCZYNSKI, J.S. Landform characterization with Geographic Information Systems. *Photogrammetric Congress Remote Sensing*, v. 63, p. 183-191, 1997.
4. BOCKHEIN, J.G.; GENNADIYEV, A.N.; HAMMER, R.D.; TANDARICH, J.P. Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma*, v. 24, p. 23-36, 2005.
5. BOUMA, J. Land qualities in space and time. In: BOUMA, J. & BREGHT, A.K. (Ed.). *Land quality in space and time*. Wageningen: PUDOC, The Netherlands, p. 3-13, 1989.
6. CAMPOS, M.C.C.; CARDOZO, N.P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos de pedológicos. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 6, n. 1, p. 104-114, 2006.
7. COMEC - COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. *Carta Topográfica, escala 1:10.000*. Curitiba, 1976.
8. CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PERREIRA, 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*, v. 29, p. 81-90, 2005.
9. CURCIO, G.R. *Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do rio Iguçu, Paraná, Brasil*. Curitiba, 2006. 488 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
10. CURCIO, G.R.; BONNET, A.; PESTANA, D.; SOUZA, L.; SOCHER, L.G.; GALVÃO, F.; RODERJAN, C.V. Compartimentação topossequencial e caracterização fitossociológica de um capão de floresta ombrófila mista. Curitiba: *Floresta*, v. 36, n. 3, p. 361-369, 2006.
11. DANIELS, R.B. & HAMMER, R.D. *Soil geomorphology*. New York: John Wiley & Sons, 236 p., 1992.
12. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa em Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa produção de informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p., 2006.
13. FLORINSKY, I.V. & KURYAKOVA, G.A. Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*, v. 27, p. 123-141, 1996.
14. GALLANT, J.C. & WILSON, J.P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J.P. & GALLANT, J.C. (Eds.). *Terrain Analysis: Principles and applications*. New York: John Wiley & Sons, p. 51-85, 2000.
15. HUDSON, B.D. The soil survey as paradigm-based science. *Soil Science Society American Journal*, v. 56, p. 836-841, 1992.
16. IPPOLITI, G.A.; COSTA, L.M. DA; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; GAGGERO, M.R.; SOUZA, E. Análise digital do terreno: Ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 2, p. 269-276, 2005.
17. IRVIN, B.J.; VENTURA, S.J.; SLATER, B.K. Fuzzy and Isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant alley. *Geoderma*, v. 77, p. 137-154, 1997.
18. JENNY, H. The soil resource: Origin and behavior. *Ecology student*. New-York: Springer-Verlag, v. 37, 377 p., 1980.
19. LIMA, M.R. *Atributos de solos e macrófitas aquáticas flutuantes: uma contribuição a sustentabilidade agrícola e ambiental na bacia do rio Iraí (PR)*. Curitiba, 2005. 111 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção vegetal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
20. MARTZ, L.W. & E. DE JONG. Using cesium 137 and landform classification to develop a net soil erosion budget for a small canadian prairie watershed. *Catena*, v. 18, p. 289-308, 1991.
21. MATLAB. *User guide*, version 6.5. Math Works, 1998.
22. MCKENZIE, N.J.; SMETTEN, K.R.J.; RINGROSE-VOASE, A.J. Evaluation of methods for inferring air and water properties of soils from field morphology. *Australian Journal Soil Research*, v. 29, p. 587-602, 1991.
23. MONTGOMERY, D.R. Predicting landscape-scale erosion using digital elevation models. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 335, p. 1121-1130, 2003.
24. 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.
25. MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society American Journal*, v. 57, p. 443-452, 1993.
26. NANNI, M.R. & ROCHA, H.O. Integration of GIS technology, remote sensing and multivariate analysis in the delimitation of physiographic units for pedological mapping. *Boletim do Instituto de Geociências – USP, Série Científica*, v. 28, p. 129-143, 1997.

27. ODEH, I.O.A.; CHITTLEBOROUGH, D.J.; McBRATNEY, A.B. Elucidation of soil-landform interrelationship by canonical ordination analysis. **Geoderma**, v. 49, p. 1-32, 1991.
28. PARK, S.J. & BURT, T.P. Identification and Characterization of pedogeomorphological process on a hillslope. **Soil Science Society American Journal**, v. 66, p. 1897-1910, 2002.
29. 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.
30. ROCHA, H.O. **Mapa preliminar de solos da Fazenda Canguiri**. Arquivo digital, Idrisi 3.2. Curitiba, 1990.
31. RUHE, R.V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. **Soil Science**, v. 82, p. 441-455, 1956.
32. SALAMUNI, E.; SALAMUNI, R.; EBERT, H.D. Contribuição à geologia da bacia sedimentar de Curitiba (PR). **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 47, p. 123-142, 1999.
33. SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 3-11, 2007.
34. SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: SBCS, 5a. ed., 92 p., 2005.
35. SUGAMOSTO, M.L. **Uso de técnicas de geoprocessamento para elaboração do mapa de aptidão agrícola e avaliação da adequação de uso do Centro de Estações Experimentais do Canguiri, município de Pinhais - Paraná**. Curitiba, 2003. 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
36. YOUNG, F.J. & HAMMER, R.D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. **Soil Science Society American Journal**, v. 64, p. 989-998, 2000.

*Manuscrito Recebido em: 15 de novembro de 2007
Revisado e Aceito em: 14 de abril de 2008*

