

**Artigo Científico**

**Resumo**

A classificação de um solo é dependente de uma série de fatores químicos, físicos, morfológicos, mineralógicos e topográficos. O entendimento da relação entre estas características auxilia no conhecimento da paisagem e no mapeamento. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a correlação entre classes de solos com informações de geologia, topografia e atributos do solo. Para tanto, foi montado um banco de dados com as informações de análises de solo, curvas de nível e geologia. Estas informações foram cruzadas para verificar a contribuição de cada uma no mapa de solos. Os dados de relevo foram obtidos a partir de um modelo digital do terreno e os de geologia e solo de mapas já existente da área. Concluiu-se que existe alta correlação entre atributos e classes de solo com a geologia da área. Isto sugere que é possível utilizar dados geológicos para delimitação inicial de classes de solos quando a geologia for o fator de formação com maior importância na diferenciação dos solos numa dada região.

**Palavras-chave:** variabilidade espacial, mapa de solos, SIG.

**Geoprocessamento na avaliação espacial de variáveis do solo da região de Rafard-SP**

*Aline Marques Genú<sup>1</sup>  
José Alexandre M. Demattê<sup>2</sup>  
Marcos Rafael Nanni<sup>3</sup>*

**Geoprosesamiento en la evaluación espacial de las variables del suelo en la región de Rafard-SP**

**Resumen**

La clasificación de un suelo depende de una serie de factores químicos, físicos, morfológicos, topográficos y mineralógicos. Comprender la relación entre estas características ayuda a entender el paisaje y la elaboración de mapas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar la correlación entre las clases de suelos teniendo en cuenta datos de la geología, topografía y de los atributos del suelo. Fue elaborada una base de datos con informaciones del análisis del suelo, curvas de nivel y de la geología. Estas informaciones fueran cruzadas para sí verificar la contribución de cada uno de ellas en los mapas de suelos. Los datos topográficos se obtuvieron a partir de un modelo digital del terreno y los mapas geológicos y del suelo a partir de otros mapas ya existentes. Se concluyó que existe una alta correlación entre los atributos y las clases del suelo con la geología de la zona. Esto sugiere que es posible la utilización de datos geológicos para la delimitación inicial de los tipos de suelo, cuando la geología es el factor de mayor importancia en la diferenciación de los suelos en una región determinada.

**Palabras clave:** variabilidad espacial, mapa de suelos, SIG.

Recebido em: 30 /10/2010

Aceito para publicação em: 21/02/2011

1 - Professor do Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Rua Simeão Camargo Varela de Sá 03, CEP 85040-080, Guarapuava (PR). E-mail: agenu@unicentro.br.

2 - Professor do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP). E-mail: jamdemat@esalq.usp.br.

3 - Professor do Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: mnrnanni@uem.br

## Introdução

O solo é um recurso natural fundamental para o desenvolvimento de atividades agrícolas e não agrícolas e o entendimento da sua distribuição espacial e manejo é crítico para a manutenção de uma sociedade produtiva. A variabilidade dos solos e de seus atributos está diretamente relacionada à ação dos cinco fatores de formação dos solos: clima, organismos, material de origem, relevo e tempo.

O relevo e o material de origem são os mais facilmente avaliados. Mudanças na topografia e na geologia influenciam no movimento e armazenamento da água na superfície e subsuperfície (MZUKU et al., 2005), afetando a distribuição das propriedades do solo na paisagem (SOUZA et al., 2006).

Conforme CORÁ (1997), solos de uma mesma classe, quando submetidos a manejos diferenciados, podem apresentar diferenças significativas em suas propriedades no espaço, ou

seja, pode haver diferenças que reflitam na produtividade, justamente por variações que não são detectadas pelo mapeamento de solos. Essas variações podem então ser detectadas por métodos de geoprocessamento, visando melhorar a informação do mapa de solos.

A utilização das técnicas de geoprocessamento permite uma caracterização mais robusta da variabilidade espacial e a geração de bancos de dados para guardar, analisar e gerar novas informações para um melhor manejo do solo (SCULL et al., 2003).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a correlação entre atributos do solo, geologia e topografia (elevação e declividade) e destes com o mapa de solos, através de sistema de informações geográficas. Devido à correlação entre os atributos do solo, geologia e relevo, espera-se que os mesmos estejam relacionados com o mapa de solos e possam auxiliar na sua delimitação.

## Material e métodos

A área de estudo localiza-se no município de Rafard, sudoeste do Estado de São Paulo. É delimitada pelas coordenadas geográficas 23°0'31" e 22°58'54" latitude S e 53°39'48" e 53°37'26" longitude WGR. O clima da região é classificado como mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C (CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA AGRONÔMICA, 1960).

A geologia da região pertence à formação Itararé, Grupo Tubarão (IPT, 1981) constituindo-se de arenitos de granulação heterogênea, argilitos e folhelhos de colorações variadas desde o cinza claro ao escuro. A área possui ainda basaltos da formação Serra Geral, Grupo São Bento e, próximos ao rio, seixos. O relevo em sua maior parte é caracterizado como ondulado e suave ondulado, sendo o primeiro de maior área, com altitude variando entre 475 e 565 m acima do nível do mar.

Foram utilizados dados de 184 pontos de tradagem georreferenciados e da coleta de amostras nas profundidades de 0-20 cm para o horizonte superficial e 80-100 cm para o horizonte subsuperficial. Após coletadas, as amostras foram secas em estufa a 50°C por 48 horas e em seguida

passadas em peneira de 2 mm. Posteriormente, na fração menor que 2 mm foram efetuadas as análises físicas e químicas.

Para a análise física, foram determinados os teores de areia, silte e argila a partir do método do densímetro (CAMARGO et al., 1986). Para as análises químicas, determinou-se pH em água e KCl, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> e matéria orgânica (MO) de acordo com RAIJ e QUAGGIO (1989). A partir desses dados, obteve-se o valor da soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). O ferro total (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), a sílica (SiO<sub>2</sub>) e o titânio (TiO<sub>2</sub>) foram determinados pelo ataque sulfúrico, por meio da metodologia descrita por CAMARGO et al. (1986).

Os dados das análises de solo e as coordenadas geográficas de cada ponto foram importados para o programa Matlab 7.0 (MATHWORKS, 2005), no qual foram realizadas as análises geoestatísticas.

Inicialmente, gerou-se o semivariograma dos atributos do solo para verificar a existência de continuidade espacial. Em seguida, ajustou-se um modelo estatístico aos dados que pode ser linear, esférico, gaussiano, exponencial e com ou sem efeito pepita. Na sequência, com base nestas

informações foi realizada a interpolação dos pontos de amostragem por meio do método da krigagem e, então, gerado um mapa para cada atributo.

Os mapas de atributos foram exportados para o programa ArcGIS 9.0 (ESRI, 2005), no qual foram divididos em classes para melhor comparação como: para matéria orgânica (MO) utilizaram-se as classes alto ( $MO > 25 \text{ g dm}^{-3}$ ), médio ( $MO$  entre 15 e  $25 \text{ g dm}^{-3}$ ) e baixo ( $MO < 15 \text{ g dm}^{-3}$ ) (TOMÉ JUNIOR, 1997); o ferro total ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) foi dividido em hipoférrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 80 \text{ g kg}^{-1}$ ), mesoférrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entre 80 e  $180 \text{ g kg}^{-1}$ ) e férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 180 \text{ g kg}^{-1}$ ) (SANTOS et al., 2006); a CTC foi dividida em muito baixa ( $CTC < 30 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), baixa ( $CTC$  entre 30 e  $60 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), média ( $CTC$  entre 60 e  $100 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), alta ( $CTC$  entre 100 e  $150 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e muito alta ( $CTC > 150 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) (TOMÉ JUNIOR, 1997). Para textura, conforme o conteúdo de argila (TA), utilizou-se as seguintes classes: arenosa ( $TA < 150 \text{ g kg}^{-1}$ ), média ( $TA$  entre 150 e  $350 \text{ g kg}^{-1}$ ), argilosa ( $TA$  entre 350 e  $600 \text{ g kg}^{-1}$ ) e muito argilosa ( $TA > 600 \text{ g kg}^{-1}$ ) (SANTOS et al., 2006).

Com a avaliação do relevo gerou-se o Modelo

## Resultados e discussão

Os mapas de atributos do solo auxiliam na visualização e avaliação da distribuição espacial das características do solo e de que forma as mesmas estão correlacionadas entre si, com a geologia e as classes de solos ocorrentes na área e também com o relevo local.

A distribuição dos atributos do solo, divididos em classes para o cruzamento dos dados no sistema de informações geográficas ArcGIS e a verificação da correlação espacial, mostrou distribuição similar entre os quatro atributos avaliados: matéria orgânica, ferro total, argila e CTC (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d).

Na comparação entre os mapas de matéria orgânica e ferro total (Figuras 1a e 1b), ambos com três classes, verifica-se a correspondência entre elas, ou seja, a área com baixo teor de matéria orgânica e baixo teor de ferro (hipoférrico) têm 47 % de concordância, os teores médios de matéria orgânica e ferro (mesoférrico) possuem 16,14 % e as classes de teores altos 16,20 % de concordância (Tabela 1).

Na comparação dos mapas de matéria orgânica e argila, as áreas com elevados teores de matéria

Digital do Terreno (MDT) no programa ArcGIS 9.0 (ESRI, 2005) usando como base o limite da área de trabalho e as curvas de nível da área, espaçadas de 5 em 5 m, obtidas das cartas planialtimétricas de Toledos e Costa Rica, ambas na escala 1:10.000.

Após a geração do MDT foi realizada uma divisão das elevações em 7 níveis, partindo da cota mais baixa à cota mais alta e obteve-se o mapa de declividade, que foi dividido nas classes de relevo de acordo com SANTOS et al. (2006). O mapa de geologia foi obtido do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981) e o mapa de solos, utilizado neste trabalho, foi realizado pelo método convencional por NANNI (2000).

A comparação entre os mapas foi realizada através da função *raster calculator* do módulo *spatial analyst* no programa ArcGIS. Foram cruzados dois mapas de cada vez, gerando um terceiro mapa, o qual continha, na tabela de atributos, as informações sobre os dois mapas iniciais. A partir desta tabela, ordenou-se um dos atributos de acordo com suas classes e verificou-se, em cada uma delas, a porcentagem de área de ocorrência das classes do outro atributo.

orgânica correspondem aos locais com maior proporção de solos de textura argilosa e muito argilosa (Figuras 1a e 1c, Tabela 1). As áreas com médio teor de matéria orgânica predominam também nas áreas com textura média e argilosa enquanto a área de baixo teor corresponde, principalmente, às texturas arenosa e parte da média (Tabela 1).

Isto ocorre devido à decomposição da matéria orgânica ser mais lenta em solos argilosos, ao contrário do que ocorre em solos arenosos cuja maior aeração e temperatura aceleram o processo de decomposição diminuindo seu teor (PORTA CASANELLAS et al., 1999). Além disso, a matéria orgânica e a argila atuam na formação dos agregados do solo, na qual a matéria orgânica funciona como uma ponte na ligação entre os minerais de argila (SIX et al., 2000).

Observa-se que nas áreas com maior teor de matéria orgânica, também ocorre os maiores valores de CTC (Figuras 1a e 1d) visto que os radicais orgânicos apresentam grande número de cargas negativas, aumentando a CTC do solo (HAVLIN et al., 1999).

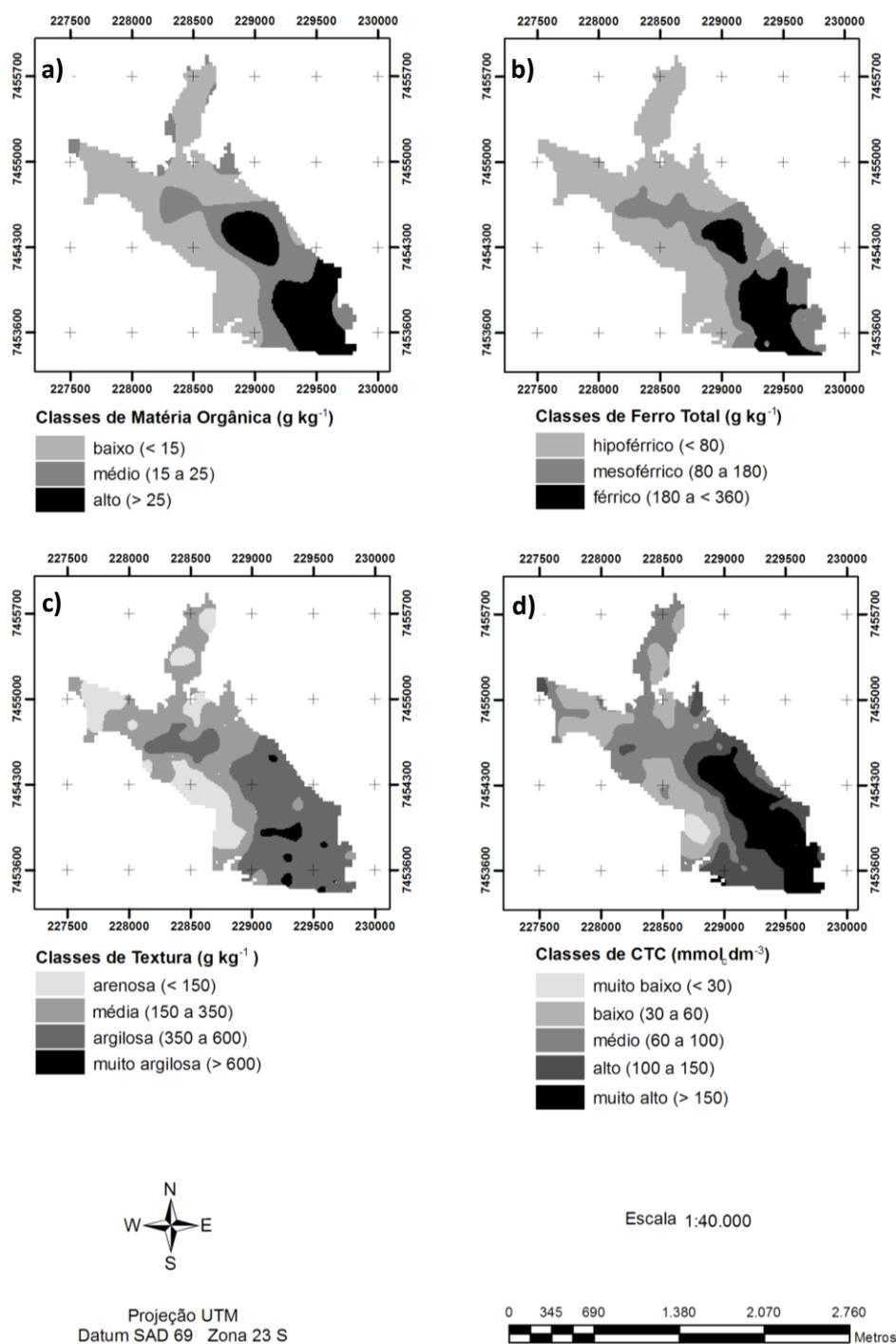


Figura 1 . Mapas de classes de atributos do solo: matéria orgânica (a), ferro total (b), textura (c) e CTC (d).

**Tabela 1.** Comparação entre os mapas de atributos do solo da área.

Classes de atributos	Textura <sup>(1)</sup>				MO <sup>(2)</sup>			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>			
	ARE	MD	ARG	MARG	AL	MD	BA	HF	MF	F	
MO <sup>(2)</sup>	AL	0,00 <sup>(5)</sup>	1,89	20,83	1,85	- <sup>(6)</sup>	-	-	0,16	8,21	16,20
	MD	0,21	8,59	16,39	0,77	-	-	-	8,43	16,14	1,37
	BA	17,97	26,85	4,66	0,00	-	-	-	47,00	2,49	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>	HF	17,99	34,01	3,93	0,00	0,16	8,43	47,00	-	-	-
	MF	0,00	3,83	22,69	0,55	8,21	16,14	2,49	-	-	-
	F	0,00	0,00	15,03	1,97	16,20	1,37	0,00	-	-	-
CTC <sup>(4)</sup>	MB	1,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58	1,78	0,00	0,00
	BA	14,07	8,29	0,13	0,00	0,00	0,27	43,07	22,27	0,23	0,00
	MD	2,44	21,21	6,43	0,00	0,02	16,49	43,39	24,17	5,91	0,00
	AL	0,00	6,75	14,20	1,24	13,35	22,14	6,40	6,91	10,74	4,52
	MARG	0,00	0,84	21,22	1,42	32,65	10,81	0,39	0,28	9,85	13,34

<sup>(1)</sup> Classes de textura: ARE: arenosa, MD: média, ARG: argilosa, MARG: muito argilosa; <sup>(2)</sup> Classes de matéria orgânica: AL: alta, MD: média, BA: baixa; <sup>(3)</sup> Classes de ferro total: HF: hipoférrico, MF: mesoférrico, F: férrico; <sup>(4)</sup> Classes de capacidade de troca catiônica: MB: muito baixa, BA: baixa, MD: média, AL: alta, MA: muito alta; <sup>(5)</sup> Valores apresentados em % da área total; <sup>(6)</sup> Comparação entre os mesmos mapas.

A correlação entre ferro total e argila foi a mais alta conforme pode ser notado nos mapas destes atributos (Figuras 1b e 1c). As classes arenosa e média correspondem à classe hipoférrico, já as classes mesoférrico e férrico estão principalmente na classe argilosa (Tabela 1). Esta relação existe na área, pois nos locais de ocorrência dos altos teores de ferro e também de argila, o material de origem é o diabásio, rocha ígnea básica que apresenta na sua constituição minerais como a ilmenita e a magnetita, óxidos que apresentam Fe na sua estrutura e, por isso, geram os altos teores em ferro, como pode ser observado na Figura 2c.

A relação espacial entre CTC e ferro total (Figuras 1b e 1d), apesar do número diferente de classes, demonstra que as classes muito baixa, baixa e média de CTC correspondem à classe de baixo ferro (hipoférrico) (Tabela 1). A classe alta de CTC tem a maior parte de sua área (10,74 %) na classe mesoférrico e a classe muito alta na classe férrico (13,34 %) (Tabela 1). Esta correlação poderia ser considerada como um efeito secundário, visto que nos locais com maiores teores de ferro total ocorrem também os maiores teores de argila e matéria orgânica, as principais fontes de carga do solo, logo responsáveis pela CTC (ALLEONI e

CAMARGO, 1995)

Nas classes de CTC e argila (Figuras 1c e 1d), tem-se a correspondência entre a classe muito baixa e baixa de CTC na classe de textura arenosa (Tabela 1), A classe de média CTC corresponde a classe de textura média e as classes alta e muito alta de CTC, na classe argilosa (Tabela 1). A relação CTC e argila é alta, pois assim como a matéria orgânica os minerais da fração argila dos solos são os responsáveis pela geração de cargas negativas (HAVLIN et al., 1999).

A relação entre elevação e os atributos do solo demonstra que os maiores teores de ferro total, argila, CTC e matéria orgânica ocorrem nos locais mais elevados da área (Tabela 2, Figuras 1 e 2a). BRUBAKER et al. (1993), verificaram que a CTC, teor de argila e matéria orgânica diminuem na direção das menores elevações, e que estas alterações estão relacionadas aos processos de formação e erosão da paisagem. Na área de estudo, além dos processos de formação e erosão, a geologia parece ser de maior influência na distribuição das variáveis do solo, uma vez que nas maiores cotas estão o diabásio e folhelho e nas menores o arenito e material aluvial (Figura 2c).

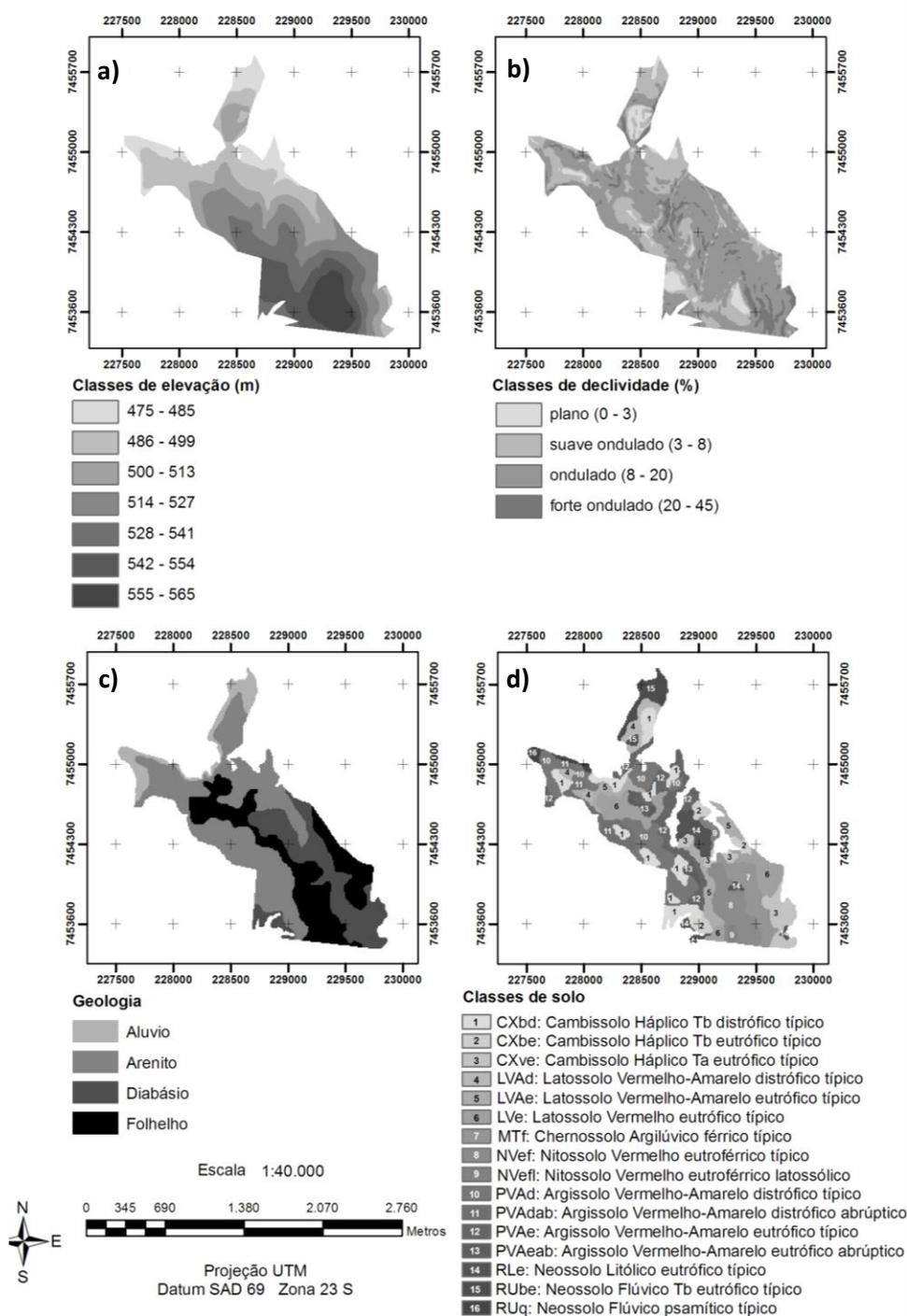


Figura 2. Mapa de elevação (a), declividade (b), geologia (c) e solos (d).

**Tabela 2.** Comparação entre os mapas de atributos do solo e o mapa de elevação.

Classes Atributo	Elevação <sup>(1)</sup>							
	1	2	3	4	5	6	7	
Textura <sup>(2)</sup>	ARE	4,30 <sup>(6)</sup>	3,90	0,92	2,50	3,61	2,76	0,00
	MD	5,97	13,51	5,83	5,28	3,22	2,31	0,00
	ARG	0,00	3,06	9,38	11,52	7,07	6,26	5,97
	MARG	0,00	0,21	0,02	0,07	0,38	5,97	1,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>	HF	10,29	17,32	5,69	6,85	7,35	6,61	0,03
	MF	0,00	3,14	8,34	9,69	4,39	1,40	1,08
	F	0,00	0,21	2,11	2,82	2,54	4,03	6,11
MO <sup>(4)</sup>	BA	8,34	16,21	5,63	5,70	7,09	5,99	0,00
	MD	1,37	3,69	6,13	7,12	3,46	2,55	1,37
	AL	0,00	0,61	4,13	6,65	4,14	3,80	6,03
CTC <sup>(5)</sup>	MB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	0,00
	BA	3,68	8,20	1,34	3,54	3,52	2,20	0,00
	MD	4,68	8,43	6,94	4,85	2,97	0,93	1,00
	AL	1,06	3,50	3,53	3,44	2,18	3,98	4,60
	MA	0,00	0,38	3,99	7,62	5,20	3,78	2,80

<sup>(1)</sup>Classes de elevação (em metros): 1: 475 – 485, 2: 486 – 499, 3: 500 – 513, 4: 514 – 527, 5: 528 – 541, 6: 542 – 554, 7: 555 – 565; <sup>(2)</sup> Classes de textura: ARE: arenosa, MD: média, ARG: argilosa, MARG: muito argilosa; <sup>(3)</sup> Classes de ferro total: HF: hipoférrico, MF: mesoférrico, F: férrico; <sup>(4)</sup> Classes de matéria orgânica: AL: alta, MD: média, BA: baixa; <sup>(5)</sup> Classes de capacidade de troca catiônica: MB: muito baixa, BA: baixa, MD: média, AL: alta, MA: muito alta; <sup>(6)</sup> Valores apresentados em % da área total.

Desta forma, verificou-se alta correlação entre a geologia e os atributos do solo, nos locais de solos mais argilosos, maior teor de matéria orgânica, CTC e ferro total ocorrem o diabásio e o folhelho (Tabela 3, Figuras 1 e 2c).

Para a declividade, o resultado da comparação dos mapas não demonstra grandes semelhanças (Tabela 3) ocorrendo às classes de todos os atributos em todas as classes de declividade, no entanto as maiores porcentagens de área de todos os atributos ocorrem nas classes ondulado e suave ondulado, que são as mais representativas na área (Figuras 1 e 2b).

O mapa de solos da área (Figura 2d) foi comparado aos mapas dos atributos (Figura 1) e, observando a relação dos solos (Figura 2d) com o mapa de textura (Figura 1c) verifica-se que as áreas de textura argilosa e muito argilosa coincidem com os solos que, por definição, são argilosos como os Nitossolo Vermelho eutroférico típico (Nvef), Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico (Nvefl) e o Chernossolo Argilúvico férrico típico (MTf) enquanto os Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico (PVAe), Argissolo Vermelho-

Amarelo distrófico típico (PVAd), Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto (PVAeab) e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico abrupto (PVAdab), em sua maior parte, encontram-se nas áreas arenosa a média (Tabela 4), devido ao menor teor de argila que apresentam em superfície.

As classes de solo Latossolo Vermelho eutrófico típico (Lve), Cambissolo Háplico Tb eutrófico típico (CXbe), Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico (CXve) e Neossolo Litólico eutrófico típico (RLe) possuem maior área de ocorrência nas texturas argilosa e média, enquanto os Neossolo Flúvico psamítico típico (RUq), Neossolo Flúvico Tb eutrófico típico (RUbe), Cambissolo Háplico Tb distrófico típico (CXbd) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd) estão presentes nas áreas de textura mais arenosa (Tabela 4).

Com relação ao ferro total (Figuras 1b e 2d), verifica-se que os Nvef, Nvefl, RLe e MTf encontram-se nas áreas da classe férrico (Tabela 4) enquanto os Lve, LVAe e CXve ocorrem preferencialmente na classe mesoférrico sendo as demais classes de solo predominantes da classe hipoférrico (Tabela 4).

Tabela 3. Comparação entre os mapas de atributos do solo e os mapas de geologia e declividade.

Classes Atributo	Geologia <sup>(1)</sup>				Declividade <sup>(2)</sup>				
	AL	AR	DB	FL	PL	SO	O	FO	
Textura <sup>(3)</sup>	ARE	4,04 <sup>(7)</sup>	13,83	0,00	0,04	4,76	6,78	5,99	0,44
	MD	3,39	24,21	4,12	4,42	3,65	13,32	16,84	2,29
	ARG	0,00	4,73	16,86	21,70	1,96	9,95	27,98	1,98
	MARG	0,00	0,00	0,50	2,15	0,15	0,40	1,98	0,13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(4)</sup>	HF	7,44	39,85	2,33	4,37	8,62	21,26	22,54	1,72
	MF	0,00	1,62	10,43	16,09	0,55	6,48	18,40	2,60
	F	0,00	1,31	8,72	7,84	1,37	2,71	11,83	1,91
MO <sup>(5)</sup>	BA	6,17	35,62	1,71	4,99	7,74	19,50	20,54	1,18
	MD	0,85	5,83	6,89	12,33	0,99	6,35	16,83	1,52
	AL	0,00	1,51	12,86	11,22	1,63	4,17	15,98	3,55
CTC <sup>(6)</sup>	MB	0,00	1,61	0,00	0,00	0,97	0,60	0,08	0,00
	BA	3,17	18,79	0,27	0,57	5,11	8,14	9,06	0,50
	MD	3,42	16,06	0,67	8,48	1,52	11,86	14,53	1,10
	AL	0,24	5,55	5,23	11,55	2,07	7,48	11,69	1,18
	MA	1,05	0,00	15,33	7,99	0,46	1,76	18,44	3,42

<sup>(1)</sup> Material geológico: AL: aluvial, AR:arenito, DB: diabásio, FL: folhelho; <sup>(2)</sup> Classes de declividade: PL: plano, SO: suave ondulado, O: ondulado, FO: forte ondulado; <sup>(3)</sup> Classes de textura: ARE: arenosa, MD: média, ARG: argilosa, MARG: muito argilosa; <sup>(4)</sup> Classes de ferro total: HF: hipoférrico, MF: mesoférrico, F: férrico; <sup>(5)</sup> Classes de matéria orgânica: AL: alta, MD: média, BA: baixa; <sup>(6)</sup> Classes de capacidade de troca catiônica: MB: muito baixa, BA: baixa, MD: média, AL: alta, MA: muito alta; <sup>(7)</sup> Valores apresentados em % da área total.

Tabela 4. Comparação entre os mapas de atributos e o mapa de solos da área.

Classes de Solo <sup>(1)</sup>	Classes de atributos														
	Textura <sup>(2)</sup>				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>			MO <sup>(4)</sup>			CTC <sup>(5)</sup>				
	ARE	MD	ARG	MARG	HF	MF	F	BA	MD	AL	MB	BA	MD	AL	MA
PVAe	0,49 <sup>(6)</sup>	8,63	1,45	0,00	9,12	1,44	0,00	5,79	4,29	0,08	0,00	0,63	6,29	3,14	0,00
PVAd	10,65	4,24	0,00	0,00	14,89	0,01	0,00	14,91	0,28	0,00	1,54	11,02	2,79	0,00	0,00
PVAeab	0,00	0,92	1,03	0,00	0,99	0,95	0,00	1,02	0,98	0,00	0,00	0,21	1,81	0,00	0,00
PVAdab	1,42	2,19	0,00	0,00	3,61	0,00	0,00	3,84	0,08	0,00	0,00	2,02	2,04	0,00	0,00
NVefl	0,00	0,00	1,20	0,35	0,00	0,17	1,37	0,00	0,40	1,22	0,00	0,00	0,00	0,97	0,67
NVef	0,00	0,00	7,83	1,08	0,00	1,66	7,23	0,00	1,97	7,19	0,00	0,00	0,00	4,97	4,34
CXbd	2,70	7,13	0,79	0,00	10,62	0,01	0,00	9,96	0,54	0,00	0,17	4,39	4,58	1,21	0,01
CXbe	0,00	0,83	2,01	0,00	1,74	1,04	0,05	0,86	1,62	0,39	0,00	0,00	0,21	2,27	0,41
CXve	0,00	0,61	4,79	0,14	0,21	4,34	0,99	0,00	2,49	2,74	0,00	0,00	0,03	0,50	4,56
LVAe	0,12	2,19	4,97	0,45	3,03	4,60	0,10	2,84	4,23	0,55	0,00	0,80	3,05	3,22	0,46
LVAd	1,11	2,36	0,00	0,00	3,47	0,00	0,00	3,25	0,16	0,00	0,00	1,93	1,42	0,00	0,00
LVe	0,01	2,10	8,42	0,00	1,47	8,75	0,31	2,79	4,72	3,00	0,00	0,51	4,78	3,04	2,14
RLe	0,00	1,05	3,65	0,45	0,39	1,69	3,08	0,40	0,13	4,81	0,00	0,00	0,01	0,88	4,54
RUq	0,54	0,81	0,00	0,00	1,35	0,00	0,00	0,96	0,36	0,00	0,00	0,44	0,58	0,27	0,00
RUbe	1,82	2,31	0,00	0,00	4,13	0,00	0,00	3,35	0,42	0,00	0,00	1,64	2,02	0,00	0,00
MTf	0,00	0,20	6,72	0,29	0,00	2,00	5,20	0,00	1,96	5,43	0,00	0,00	0,00	0,15	7,33

<sup>(1)</sup> Classes de solo: PVAe: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico, PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, PVAeab: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto, PVAdab: Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico abrupto, NVefl: Nitossolo Vermelho eutrófico latossólico, NVef: Nitossolo Vermelho eutrófico típico, CXbd: Cambissolo Háptico Tb distrófico típico, CXbe: Cambissolo Háptico Tb eutrófico típico, CXve: Cambissolo Háptico Ta eutrófico típico, LVAe: Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico, LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, LVe: Latossolo Vermelho eutrófico típico, LVd: Latossolo Vermelho distrófico típico, RLe: Neossolo Litólico eutrófico típico, RUq: Neossolo Flúvico psamítico típico, RUbe: Neossolo Flúvico Tb eutrófico típico, MTf: Chernossolo Argilúvico férrico típico; <sup>(2)</sup> Classes de textura: ARE: arenosa, MD: média, ARG: argilosa, MARG: muito argilosa; <sup>(3)</sup> Classes de ferro total: HF: hipoférrico, MF: mesoférrico, F: férrico; <sup>(4)</sup> Classes de matéria orgânica: AL: alta, MD: média, BA: baixa; <sup>(5)</sup> Classes de capacidade de troca catiônica: MB: muito baixa, BA: baixa, MD: média, AL: alta, MA: muito alta; <sup>(6)</sup> Valores apresentados em % da área total.

Os teores de matéria orgânica (Figuras 1a e 2d) demonstram que o MTf, RLe, NVe e NVeFl estão predominantemente na área de maior teor de matéria (Tabela 4) enquanto todas as demais classes de solo estão distribuídas nos teores médio e baixo de matéria orgânica.

O comportamento da CTC em relação às classes de solo (Figuras 1d e 2d) é similar ao já observado para os demais atributos do solo. Desta forma, tem-se o MTf, RLe, CXbe, CXve, NVe e NVeFl apresentando CTC alta a muito alta (Tabela 4) enquanto os demais solos estão predominantemente nas classes baixa e média.

Na relação entre o mapa de solos e o de geologia, verifica-se que a maior parte dos solos está sobre área de arenito (Figuras 2c e 2d). Os RUbe e RUq encontram-se nas áreas de material aluvial e de arenito (Tabela 5), o que explica os menores teores de argila, ferro total, matéria

orgânica e CTC destes solos. O RLe e o MTf, por sua vez, estão na área de influência do diabásio (Tabela 5), concordando com a textura argilosa, teor de ferro entre mesoférico e férrico, alta matéria orgânica e CTC muito alta (Tabela 4) que estes solos apresentam.

Os LVAe e LVe, na comparação com o mapa de geologia, demonstra que o material de origem é o folhelho, enquanto que do LVAd é o arenito (Tabela 5), o que explica a diferenciação nos atributos avaliados para estas classes de solo.

Os PVA estão todos sobre material arenítico, o que concorda com a baixa CTC, teor de ferro e matéria orgânica e textura mais arenosa (Figuras 2c e 2d). Contudo, partes da área desta classe de solo também são verificadas em locais de folhelho, o que explica as porcentagens destes solos com textura argilosa e alta CTC (Tabela 5).

**Tabela 5.** Comparação entre o mapa de solos e os mapas de geologia e declividade.

Classes de Solo <sup>(1)</sup>	Geologia <sup>(2)</sup>				Declividade <sup>(3)</sup>			
	AL	AR	DB	FL	PL	SO	O	FO
PVAe	0,64 <sup>(4)</sup>	8,20	0,73	1,24	0,47	4,33	4,89	0,96
PVAd	1,59	12,20	0,59	0,01	2,26	6,25	5,67	0,33
PVAeab	0,00	1,11	0,00	0,74	0,08	0,43	1,33	0,01
PVAdab	0,00	3,58	0,00	0,37	0,40	1,02	2,37	0,09
NVeFl	0,00	0,88	0,11	0,54	0,00	0,30	1,19	0,04
NVe	0,00	0,00	1,35	7,44	1,36	2,27	4,86	0,32
CXbd	0,65	8,62	1,31	0,31	2,16	4,55	3,92	0,25
CXbe	0,00	1,59	0,41	0,74	0,00	1,10	1,60	0,04
CXve	0,00	0,00	4,80	1,42	0,04	0,76	4,11	1,28
LVAe	0,00	2,22	0,65	4,50	0,27	2,38	4,61	0,18
LVAd	0,53	2,95	0,00	0,00	1,22	1,14	0,92	0,23
LVe	0,00	0,84	0,52	9,05	0,30	3,81	6,19	0,15
RLe	0,00	0,33	4,44	0,47	0,00	0,64	4,05	0,52
RUq	1,12	0,13	0,00	0,00	0,35	0,47	0,28	0,14
RUbe	3,48	0,69	0,00	0,00	1,53	1,88	0,69	0,07
MTf	0,00	0,00	5,35	1,56	0,00	0,03	5,22	1,68

<sup>(1)</sup> Classes de solo: PVAe: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico, PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, PVAeab: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto, PVAdab: Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico abrupto, NVeFl: Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico, NVe: Nitossolo Vermelho eutroférico típico, CXbd: Cambissolo Háptico Tb distrófico típico, CXbe: Cambissolo Háptico Tb eutrófico típico, CXve: Cambissolo Háptico Ta eutrófico típico, LVAe: Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico, LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, LVe: Latossolo Vermelho eutrófico típico, LVd: Latossolo Vermelho distrófico típico, RLe: Neossolo Litólico eutrófico típico, RUq: Neossolo Flúvico psamítico típico, RUbe: Neossolo Flúvico Tb eutrófico típico, MTf: Chernossolo Argilúvico férrico típico; <sup>(2)</sup> Material geológico: AL: aluvial, AR:arenito, DB: diabásio, FL: folhelho; <sup>(3)</sup> Classes de declividade: PL: plano, SO: suave ondulado, O: ondulado, FO: forte ondulado; <sup>(4)</sup> Valores apresentados em % da área total.

Os Cambissolos de argila de atividade baixa estão em sua maioria em área de arenito (Tabela 5), o que concorda com os atributos do CXbd, textura média, hipoférrico, baixa matéria orgânica e baixa CTC (Tabela 4). No entanto, o CXbe, apesar do baixo ferro e médio teor de matéria orgânica, apresenta alta CTC e textura argilosa, o que não condiz com a geologia (Tabela 5). Já o CXve, que tem como geologia o diabásio, concordando com as classes dos seus atributos avaliados. A discordância entre a geologia e atributos pode estar relacionada ao retrabalhamento dos diversos materiais de origem ocorrentes na área de estudo.

Os Nitossolos Vermelhos, estão em sua maioria sobre área de arenito (NVefl) ou folhelho (NVef) e não de diabásio como era de se esperar (Tabela 5). Apesar disso, eles possuem alto teor de ferro, alta CTC, textura argilosa a muito argilosa e alta matéria orgânica (Tabela 4). Isso pode ser

resultado das diferenças entre as escala do mapa de solos e o de geologia. Como a área de ocorrência dos Nitossolos é, de acordo com o mapa de geologia (Figura 2c) e solos (Figura 2d), ao lado da área do diabásio, pode ser que a área de ocorrência desta rocha se estenda ao local dos Nitossolos.

A relação entre solos e relevo foi verificada pelo cruzamento dos mapas de declividade e elevação com o de solos. Inicialmente, observa-se que a maior parte da área tem relevo ondulado, logo grande parte das classes de solos ocorrem na declividade de 8 a 20 % (Figura 2a, b e d).

Os RUq e RUbe ocorrem, em sua maior porcentagem, em relevo plano a suave ondulado e de baixa altitude (Tabelas 5 e 6) enquanto o RLe ocorre em relevo ondulado, com altitudes variando de 500 a 527 m (Tabela 5 e 6).

**Tabela 6.** Comparação entre os mapas de solos e o de elevação.

Classes de Solo <sup>(1)</sup>	Elevação <sup>(2)</sup>						
	1	2	3	4	5	6	7
PVAe	2,27 <sup>(3)</sup>	3,62	1,14	1,59	1,56	0,49	0,00
PVAd	2,53	4,13	0,08	2,43	2,80	2,54	0,00
PVAeab	0,00	0,00	1,11	0,03	0,71	0,00	0,00
PVAdab	0,29	1,08	1,01	1,50	0,00	0,00	0,00
NVefl	0,00	0,08	0,91	0,00	0,00	0,10	0,43
NVef	0,00	0,00	0,00	0,46	0,72	1,91	5,71
CXbd	0,79	3,90	0,55	0,80	2,63	2,22	0,00
CXbe	0,00	0,59	0,74	0,42	0,06	0,94	0,00
CXve	0,00	0,75	1,81	3,14	0,48	0,00	0,00
LVAe	0,00	2,07	2,04	0,50	1,46	1,02	0,35
LVAd	0,37	2,01	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00
LVe	0,00	0,62	2,48	5,65	0,89	0,62	0,18
RLe	0,00	0,08	1,43	2,60	0,59	0,22	0,30
RUq	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RUbe	2,86	0,80	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00
MTf	0,00	0,00	0,05	0,80	3,06	2,61	0,40

<sup>(1)</sup> Classes de solo: PVAe: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico, PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, PVAeab: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico abrupção, PVAdab: Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico abrupção, NVefl: Nitossolo Vermelho eutrófico latossólico, NVef: Nitossolo Vermelho eutrófico típico, CXbd: Cambissolo Háptico Tb distrófico típico, CXbe: Cambissolo Háptico Tb eutrófico típico, CXve: Cambissolo Háptico Ta eutrófico típico, LVAe: Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico, LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, LVe: Latossolo Vermelho eutrófico típico, LVd: Latossolo Vermelho distrófico típico, RLe: Neossolo Litólico eutrófico típico, RUq: Neossolo Flúvico psamítico típico, RUbe: Neossolo Flúvico Tb eutrófico típico, MTf: Chernossolo Argilúvico férrico típico; <sup>(2)</sup> Classes de elevação (em metros): 1: 475 – 485, 2: 486 – 499, 3: 500 – 513, 4: 514 – 527, 5: 528 – 541, 6: 542 – 554, 7: 555 – 565; <sup>(3)</sup> Valores apresentados em % da área total.

Os LVe e LVAe ocorrem, principalmente, em áreas suave onduladas a onduladas, porém em diferentes altitudes (Tabelas 5 e 6), o LVAe está em cotas mais baixa, de 486 a 513 m, enquanto o LVe entre 514 e 527 m. Já o LVA<sub>d</sub> está presente em relevo plano a suave ondulado e nas mesmas altitudes que o LVAe (Tabelas 5 e 6). SOUSA JUNIOR (2005), observou para solos da região de Ibaté, que os Latossolos ocorrem em declividades inferiores à 16% enquanto LACERDA et al. (2005), para solos de Cerrado, verificaram a presença dos Latossolos em declives de até 10%.

Os Cambissolos (CX<sub>bd</sub>, CX<sub>be</sub> e CX<sub>ve</sub>) estão presentes nas declividades entre 3 a 20 % (suave a ondulado) e com altitudes variando de 486 a 554m (Tabelas 5 e 6), concordando com SOUSA JUNIOR (2005) que obteve resultados semelhante para esta classe de solo.

Os Nitossolos (N<sub>Vef</sub> e N<sub>Vefl</sub>) estão, principalmente, em relevo ondulado porém, o N<sub>Vef</sub> ocorre em maior porcentagem em maiores altitudes, 555 a 565 m enquanto o N<sub>Vefl</sub> de 500 a 513 m (Tabelas 5 e 6). O M<sub>Tf</sub> por sua vez está em relevo ondulado a forte ondulado com altitudes variando entre 528 e 554 m (Tabelas 5 e 6).

Os PVA<sub>eab</sub> e PVA<sub>dab</sub> ocorrem principalmente em relevo ondulado e altitudes entre 500 e 527 m (Tabelas 5 e 6), enquanto os demais Argissolos (PVA<sub>e</sub> e PVA<sub>d</sub>) encontram-se em áreas de relevo suave ondulado a ondulado e variando em altitude entre 475 e 499, em sua maior parte. SOUSA JUNIOR (2005) verificou que o comportamento dos solos com relação ao declive é variável, podendo um mesmo solo ocorrer em diferentes declividades.

## Conclusões

1- A variabilidade espacial dos atributos ferro total, CTC, argila e matéria orgânica apresentaram-se semelhantes e com alta correlação;

2 - O mapa geológico apresentou estreita correlação com os atributos argila, matéria orgânica, CTC e ferro total;

3 - O mapa de solos apresentou maior relação com os mapas de textura, ferro total e geologia;

4 - Pode-se inferir que as avaliações espaciais dos atributos do solo e da geologia podem ser utilizadas para uma delimitação inicial de classes de solos.

## Referencias

- ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. Óxidos de ferro e de alumínio e a mineralogia da fração argila deferrificada de latossolos ácidos. *Scientia Agricola*, v.52, n.3, p.416-421, 1995.
- BRUBAKER, S.C.; JONES, A.J.; LEWIS, D.T.; FRANK, K. Soil properties associated with landscape position. *Soil Science Society of America Journal*, v.57, n.1, p.235-239, 1993.
- CAMARGO, A.O. de; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CENTRO NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA AGRONÔMICA. **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1960. 637p. (SNPA. Boletim 12).
- CORÁ, J.E. **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage**. Thesis (PhD in Crop and Soil Science) – Michigan State University, East Lansing. 1997. 237f.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS 9.0**. 2005. 3 CD-ROM.
- HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizer: an introduction to nutrient management**. 6<sup>th</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 499 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geológico de Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. Escala 1:1000.000.

- LACERDA, M.P.C.; BARBOSA, I.O.; MENESES, P.R.; ROSA, J.W.C.; ROIG,H.L. Aplicação de geotecnologias em correlações entre solos, geomorfologia, geologia e vegetação nativa no Distrito Federal, DF. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12.**, Goiânia:INPE, 2005, p.2211-2218. CD-ROM.
- MATWORKS INC. **Matlab 7.0.** 2005. 1 CD-ROM.
- MZUKU, M.; KHOSLA, R.; REICH, R.; INMAN, D.; SMITH, F.; MacDONALD, L. Spatial variability of measured soil properties across Site-Specific Management Zones. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.1572-1579, 2005.
- NANNI, M.R. **Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento de solos.** Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 2000. 188f.
- PORTA CASANELLAS, J.; LOPÉZ-ACEVEDO REGUERÍN, M.; ROQUERO DE LABURU, C. **Edafología: para la agricultura y el medio ambiente.** Bilbao: Mundi-Prensa, 1999. 849p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.** Campinas: IAC, 1989. 40p. (IAC. Boletim Técnico 8).
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306 p.
- SCULL, P.; FRANKLIN, J.; CHADWICK, O.A.; McARTHUR, D. Predictive soil mapping: a review. **Progress in Physical Geography**, v.27, n.2, p.171-197, 2003.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, n.3, p.1042-1049, 2000.
- SOUSA JUNIOR, J.G. **Sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na caracterização de solos e quantificação de seus atributos.** Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2005. 91f.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; BARBIERI, D.M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agrícola**, v.63, n.2, p.161-168, 2006.
- TOMÉ JUNIOR, J.B. **Manual para interpretação de análises de solo.** Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.