



XXXIII

Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E DETERMINAÇÃO DE ZONAS HOMOGÊNEAS EM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DO CERRADO

José Francirlei de Oliveira¹; Robélio Leandro Marchão²; Stanislas Mayi III¹; Edeomar Joaquim Corazza³; Marcos Aurélio Carolino de Sá²; Maria de Fátima Guimarães⁴

⁽¹⁾Pós graduando, Departamento de Agronomia, CCA, Universidade Estadual de Londrina, CP-6001, CEP-86051-980, Londrina-PR, email: jfoliveira79@gmail.com; ⁽²⁾Pesquisador, Embrapa Cerrados, CP-08223, CEP-73310-970, Planaltina-DF; ⁽³⁾Pesquisador, Embrapa Informação Tecnológica, CP-040315, CEP 70770-901, Brasília-DF; ⁽⁴⁾Professor Associado C, Departamento de Agronomia, CCA, Universidade Estadual de Londrina

Resumo – A escassez de água pode prejudicar o desenvolvimento econômico de um país, neste sentido o aumento da eficiência do seu uso pela agricultura deve ser almejado. Porém a relação acerca dos atributos do solo responsáveis pela capacidade de retenção de água ainda é controversa. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de atributos do solo na sua capacidade de retenção de água, bem como sua variabilidade espacial para determinação de zonas homogêneas. Os atributos estudados foram a granulometria, densidade do solo e de partículas, mineralogia, matéria orgânica e os conteúdos gravimétricos de água equivalente aos potenciais - 0,001, -0,003, -0,006, -0,100, -1,000, e -1,500 MPa. A análise de componentes principais foi utilizada para avaliar o atributo de maior influência na capacidade de retenção de água no solo e a geoestatística para determinação da variabilidade espacial deste atributo. O teor de argila apresentou maior efeito na capacidade de retenção de água deste solo e sua variabilidade espacial pode ser utilizada na determinação de zonas homogêneas para aumentar a eficiência do uso da água pela agricultura.

Palavras-Chave: argila; capacidade de retenção; geoestatística

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda de uso da água pelas indústrias, consumo humano e, principalmente, agricultura poderá culminar em sua escassez em muitas regiões, comprometendo o desenvolvimento econômico de alguns países (Berrittella et al., 2007). Segundo Fraiture et al. (2001) há necessidade de forte investimento na conservação da água, principalmente, no aumento da eficiência de uso pela agricultura e, com esse intuito, as ferramentas da agricultura de precisão podem contribuir significativamente (Hedley & Yule, 2009).

As relações entre a capacidade de retenção de água e os atributos do solo ainda são controversas, Reatto et al. (2007) e Marchão et al (2007) observaram que a capacidade de retenção de água no solo foi influenciada principalmente pela argila e densidade do

solo, respectivamente; e Beutler et al. (2002) observaram efeito da mineralogia na capacidade de retenção. Consequentemente, não há consenso acerca de qual atributo caracteriza melhor as zonas homogêneas para agricultura de precisão.

Em solos de clima temperado, Kaspar et al. (2004), partindo da análise de vinte atributos do solo, observaram que o melhor método para identificar zonas de manejo é o mapa da distribuição da argila. Contudo, Amaro Filho et al. (2007) observaram, em solos tropicais, que, além da argila, a densidade do solo e de partículas e a porosidade total podem ser utilizadas na determinação de zonas homogêneas.

Assim, o objetivo desse trabalho foi identificar e estudar a variabilidade espacial do atributo do solo que mais influencia a capacidade de retenção de água com vistas à determinação de zonas homogêneas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma área localizada no município de Planaltina – GO, com altitude média de 1050 m. O clima local é caracterizado, segundo Koopen, como Tropical úmido (Aw) subtipo savana, com precipitação média entre 1500 e 2000 mm ano⁻¹. Apesar das estações bem definidas, a distribuição espacial e temporal é bastante variável dentro da estação chuvosa, caracterizando períodos de seca (veranico) (Assad et al., 1993).

A área experimental situa-se na superfície geológica Velhas do Cerrado (Motta et al., 2002) e o solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico caulinitico, textura argilosa. A área, de 297 ha, é cultivada com a sucessão soja-milho, sendo o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria* spp., visando produção de pasto para entressafra (sistema integração lavoura-pecuária).

As coletas de solos foram feitas em 97 pontos com malha regular de 175x175m com representatividade de 3,06 ha por ponto georreferenciado. Em todos os pontos foram coletadas amostras indeformadas (conteúdo de água e densidade do solo) e deformadas (atributos químicos, textura, densidade de partículas e mineralogia) entre 0,80 e 1,00 m de profundidade, com auxílio do trado tipo Uhland e holandês, respectivamente.

As amostras indeformadas foram coletadas com cilindros de 94,16 cm³ (Ø=4,84 cm, h=5 cm), de forma

alternada, ou seja, um cilindro em um ponto e três cilindros no ponto seguinte e assim sucessivamente, totalizando 193 cilindros.

Os conteúdos de água gravimétrica (g g^{-1}) foram determinados pelo método da centrifuga para os potenciais $\theta_{-0,001}$; $\theta_{-0,003}$; $\theta_{-0,006}$; $\theta_{-0,100}$; $\theta_{-1,000}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (Freitas Junior & Silva, 1984).

Para determinação da textura, foi utilizado o método da pipeta com solução NaOH 1N como dispersante químico e agitação por 16 horas. A densidade de partículas e do solo e o carbono orgânico foram determinados conforme Claessen (1997). A mineralogia do solo foi obtida segundo Resende et al. (1987) calculada a partir dos teores de Fe_2O_3 , Al_2O_3 e SiO_2 determinados pelo ataque sulfúrico (Claessen, 1997).

Análise estatística

A influência dos atributos do solo na capacidade de retenção de água foi avaliada por meio da análise de componentes principais, sendo analisados apenas os componentes que apresentaram autovalor maior que a unidade.

A variabilidade espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas, baseado nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, estimado pela equação:

$$\gamma^*(h) = \left(\frac{1}{2N(h)} \right) \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Em que $\gamma^*(h)$ é a estimativa da semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$; h é a distância entre os pontos amostrais; e $N(h)$ é o número total de pares de pontos possíveis dentro da área de amostragem em função da distância.

Os modelos de ajuste considerados para os semivariogramas foram estabelecidos considerando a menor soma dos quadrados do resíduo, e o escolhido foi aquele que apresentou média e variância do resíduo mais próximo de 0 e 1, respectivamente. Os mapas foram obtidos por interpolação (krigagem).

A classificação do grau da dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar $[C_0/(C_0+C_1)]$, onde C_0 é o efeito pepita e C_1 a contribuição, sendo que o grau de dependência é expresso em porcentagem, e é considerado forte, moderado e fraco para razão $\leq 25\%$, $25\% < \text{GDE} \leq 75\%$ e $> 75\%$, respectivamente (Cambardella et al., 1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de argila variou de 224 a 846 g kg^{-1} , o silte de 26 a 497 g kg^{-1} e areia fina de 53 a 606 g kg^{-1} . A densidade do solo variou de 0,85 a 1,35 g cm^{-3} e a matéria orgânica de 0,24 a 1,29 dag kg^{-1} . Consequentemente, as unidades gravimétricas também variaram, como exemplo o potencial -0,001 MPa que variou de 0,2605 a 0,6971 g g^{-1} e -1,500 MPa que variou de 0,0715 a 0,2919 g g^{-1} (Tabela 1).

Com exceção dos conteúdos de água nos potenciais -0,001 e -0,006 MPa, nenhum outro atributo do solo apresentou distribuição normal, demonstrando a heterogeneidade desta área. A variabilidade

possivelmente ocorreu em função das características de pedogênese dos Latossolos da superfície Velhas que, segundo Motta et al. (2002), apresenta influência tanto do material de origem quanto de material erodido de superfícies mais altas.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos físico-hídricos do solo estudado na profundidade de 0,8 a 1,0 m

Atributos	Média	Mínimo	Máximo	CV(%)	w
Argila	486,00	224,00	846,00	36,97	0,00
Silte	113,00	26,00	497,00	58,67	0,00
A. fina	336,00	53,00	606,00	47,85	0,00
A. grossa	65,00	7,00	138,00	44,98	0,00
Ds	1,03	0,85	1,35	9,09	0,01
Dp	2,62	2,5	2,99	2,97	0,00
Hematita	29,00	0,00	154,00	95,50	0,00
Goetita	49,00	0,00	139,00	58,96	0,00
Gibbsite	164,00	52,00	321,00	36,43	0,01
Caulinita	315,00	86,00	782,00	49,75	0,00
CO	0,64	0,24	1,29	31,14	0,00
$\theta_{-0,001\text{MPa}}$	0,48	0,26	0,69	17,54	0,52
$\theta_{-0,003\text{MPa}}$	0,38	0,23	0,65	16,73	0,01
$\theta_{-0,006\text{MPa}}$	0,33	0,20	0,49	16,36	0,56
$\theta_{-0,100\text{MPa}}$	0,23	0,14	0,36	23,21	0,01
$\theta_{-1,000\text{MPa}}$	0,19	0,11	0,31	26,39	0,00
$\theta_{-1,500\text{MPa}}$	0,18	0,07	0,29	27,68	0,02

Argila, silte, areia fina e grossa em g kg^{-1} ; Ds e Dp, densidade do solo e de partículas em g dm^{-3} ; hematita, goetita, gibbsite e caulinita em g kg^{-1} ; CO, carbono orgânico em dag dm^{-3} ; $\theta_{-0,001\text{MPa}}$, $\theta_{-0,003\text{MPa}}$, $\theta_{-0,006\text{MPa}}$, $\theta_{-0,100\text{MPa}}$, $\theta_{-1,000\text{MPa}}$ e $\theta_{-1,500\text{MPa}}$ em g g^{-1} .

Foram extraídos quatro componentes que explicaram conjuntamente 82% dos dados, e o primeiro componente explicou 59% da variância total e foi fortemente associado com a argila, Ct, Hm, areia fina, Ds e a capacidade de retenção nos potenciais estudados, sendo que a argila apresentou a maior carga (0,91) neste componente. O segundo componente explicou 10% da variância total dos dados e a fração areia grossa apresentou a maior carga (0,61). O terceiro e o quarto componentes explicaram 7 e 6% da variância dos dados e o silte e gibbsite apresentaram a maior carga, respectivamente (Tabela 2).

Observa-se também que a Ds apresentou correlação negativa com a capacidade de retenção de água, possivelmente em função do efeito da fração areia neste atributo, que diminui a superfície específica da matriz e a formação de poros capilares.

A análise de componentes revelou ainda que a textura e a mineralogia influenciaram a capacidade de retenção de água deste Latossolo, porém, verifica-se que o teor da fração argila apresentou maior efeito na capacidade de retenção de água deste Latossolo, com pouca interferência da mineralogia, corroborando com Reatto et al. (2007). Assim, solos com maior teor de argila, apresentam maior capacidade de retenção de água.

Tabela 2 - Análise de componentes principais dos atributos físico-hídricos do solo estudado

Atributos	Componentes			
	1	2	3	4
Argila (g kg ⁻¹)	0,91	-0,28	-0,19	0,15
Silte (g kg ⁻¹)	-0,09	-0,49	0,63	-0,53
Areia fina (g kg ⁻¹)	-0,88	0,40	0,00	0,06
Areia grossa (g kg ⁻¹)	-0,59	0,61	-0,23	-0,01
Ds (g cm ⁻³)	-0,77	-0,34	0,14	0,16
Dp (g cm ⁻³)	0,32	-0,08	0,26	0,18
Hematita (g kg ⁻¹)	0,73	0,27	0,28	0,18
Goetita (g kg ⁻¹)	0,51	-0,38	-0,10	0,23
Gibbsite (g kg ⁻¹)	0,35	0,21	0,56	0,64
Caulinita (g kg ⁻¹)	0,82	-0,37	-0,37	-0,03
CO (dag kg ⁻¹)	0,44	0,39	0,34	-0,38
$\theta_{-0,001\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,93	0,24	-0,03	-0,13
$\theta_{-0,003\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,88	0,35	-0,04	-0,12
$\theta_{-0,006\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,93	0,25	0,00	-0,04
$\theta_{-0,100\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,97	-0,05	0,01	-0,01
$\theta_{-1,000\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,98	-0,10	0,01	0,02
$\theta_{-1,500\text{MPa}}$ (g g ⁻¹)	0,97	-0,11	0,00	0,01
% Variância	59	10	7	6
% Variância acumulada	59	69	76	82

Ds e Dp, densidade do solo e de partículas; CO, carbono orgânico

O percentual da variância dos conteúdos de água nos potenciais não explicados pelo componente argila refere-se à porosidade resultante do arranjo dos agregados destes solos, que podem representar poros com diâmetro maior que 50 μm , responsáveis pela movimentação e drenagem da água no perfil do solo.

Observa-se na tabela 3 que o componente argila e os conteúdos de água nos potenciais -0,001, -0,003, -0,006, -0,100, -1,000 e -1,500MPa apresentaram dependência espacial e ajustaram-se ao modelo esférico, com exceção do potencial -0,003MPa que se ajustou ao modelo gaussiano. A variável argila apresentou um alcance de 546 m e o alcance dos conteúdos de água nos diferentes potenciais variou de 700 a 800 m. Amaro Filho et al. (2007) também observaram dependência espacial para o teor de argila em Latossolo Vermelho Amarelo.

Quanto menor a relação entre o efeito pepita e o patamar ($C_0/(C_0+C)$) melhor o arranjo espacial do atributo estudado. Na tabela 3, verifica-se que a dependência espacial diminui com o aumento do potencial da água no solo, por exemplo, o conteúdo de água no potencial -1,500 MPa apresenta uma relação efeito pepita e patamar de 0,28 e esta relação aumenta para 0,65 no potencial -0,001MPa, sendo que esse aumento indica grande variação dos dados a distâncias menores que as amostradas, denotando a influência da estrutura do solo nos maiores potenciais.

A variabilidade espacial da argila e dos valores de θ apresentou dependência espacial forte e moderada, respectivamente.

Segundo Cambardella et al., (1994), quando um atributo apresenta GDE de moderado a forte caracteriza a necessidade de representá-lo espacialmente, visto que permitem determinar possíveis zonas homogêneas do solo. Assim, em função do arranjo espacial, justificam-se os mapas de argila e dos valores de θ como ferramenta na tomada de decisões referentes ao aumento da eficiência do uso da água pela agricultura.

Visualmente, observa-se similaridade entre os mapas de argila e dos valores de θ , concordando com Kaspar et al. (2004) e Amaro Filho et al. (2007), que a distribuição espacial da argila pode ser utilizada na delimitação de zonas homogêneas, inclusive, para melhorar a eficiência do uso da água pela agricultura.

CONCLUSÕES

1. Para as condições desse estudo, o teor de argila apresentou-se como o atributo do solo com maior efeito na capacidade de retenção de água do Latossolo Vermelho Amarelo, na profundidade de 0,8 a 1,0 m, com pouca influência da mineralogia da argila.

2. A variabilidade espacial do teor de argila pode ser utilizada na determinação de zonas homogêneas do solo, com vistas a aumentar a eficiência do uso da água pela agricultura.

3. A geoestatística e análise de componentes principais apresentaram-se como importantes ferramentas na determinação de zonas homogêneas e refinamento do manejo da água no solo.

REFERÊNCIAS

- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN, Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:415-422, 2007.
- ASSAD, E.D., SANO, E.E., MASUTOMO, R., CASTRO, L.H.R., SILVA, F.A.M. Verânicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. Pesq. Agropec. Bras., 28:993-1002, 1993.
- BERRITTELLA, M.; HOEKSTRA, A.Y.; REHDANZ, K.; ROSON, R.; TOL, S.R.J. The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis. Water research, 41:1799-1813, 2007.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. R. Bras. Ci. Solo, 26:829-834, 2002.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1997. 212p. (Embrapa-CNPq. Documentos, 1).
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society American Journal, 58:1501-1511, 1994.
- FRAITURE, C.; MOLDEN, D.; AMARASINGHE, U.; MAKIN, I. PODIUM: Projecting Water Supply and Demand for Food Production in 2025. Physical Chemical Earth, 26:869-876, 2001.
- FREITAS JUNIOR, E.; SILVA, E.M. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação. Pesq. Agropec. Bras., 19:1423 - 1248, 1984.

HEDLEY, C.B.; YULE, I.J. Soil water status mapping and two variable-rate irrigation scenarios. *Precision Agriculture*, 10:342-355, 2009.

HILLEL, D. *Environmental soil physics*, Amsterdam: Academic Press, 1998. 771 p.

KASPAR, T.C.; PULIDO, D.J.; FENTON, T.E.; COLVIN, T.S.; KARLEN, D.L.; JAYNES, D.B.; MEEK, D.W. Relationship of corn and soybean yield to soil and terrain properties. *Agronomy Journal*, 96:700-709, 2004.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:873-882, 2007.

MOTTA, P. E. F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JUNIOR, W.; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Brasileiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:869-878, 2002.

REATTO, A.; BRUAND, A.; SILVA, E. M.; MARTINS, E. S.; BROSSARD, M. Hydraulic properties of the diagnostic horizon of Latosols of a regional toposequence across the Brazilian Central Plateau. *Geoderma*, 139:51-59, 2007.

RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de latossolos a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:17-23, 1987.

Tabela 1 - Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos das variáveis estudadas

Atributo	Modelo	Co	Contribuição	Patamar	Ao	$C_0/(C_0+C)$	GDE	SQR
Argila	Esférico	1296,192	6840,194	8136,3860	567,00	0,15	Forte	-0,00248
$\theta_{-0,001\text{MPa}}$	Esférico	0,0027	0,0014	0,0041	750,00	0,65	Moderada	-0,01494
$\theta_{-0,003\text{MPa}}$	Gaussiano	0,0020	0,0017	0,0037	800,00	0,54	Moderada	-0,00432
$\theta_{-0,006\text{MPa}}$	Esférico	0,0007	0,0011	0,0018	750,00	0,38	Moderada	-0,01257
$\theta_{-0,100\text{MPa}}$	Esférico	0,0003	0,0008	0,0011	700,00	0,27	Moderada	-0,01188
$\theta_{-1,000\text{MPa}}$	Esférico	0,0004	0,0006	0,0010	700,00	0,40	Moderada	-0,01024
$\theta_{-1,500\text{MPa}}$	Esférico	0,0002	0,0005	0,0007	750,00	0,28	Moderada	-0,0164

C_0 , efeito pepita; A_0 , alcance; C, contribuição; GDE, grau de dependência espacial; SQR, soma dos quadrados dos resíduos.

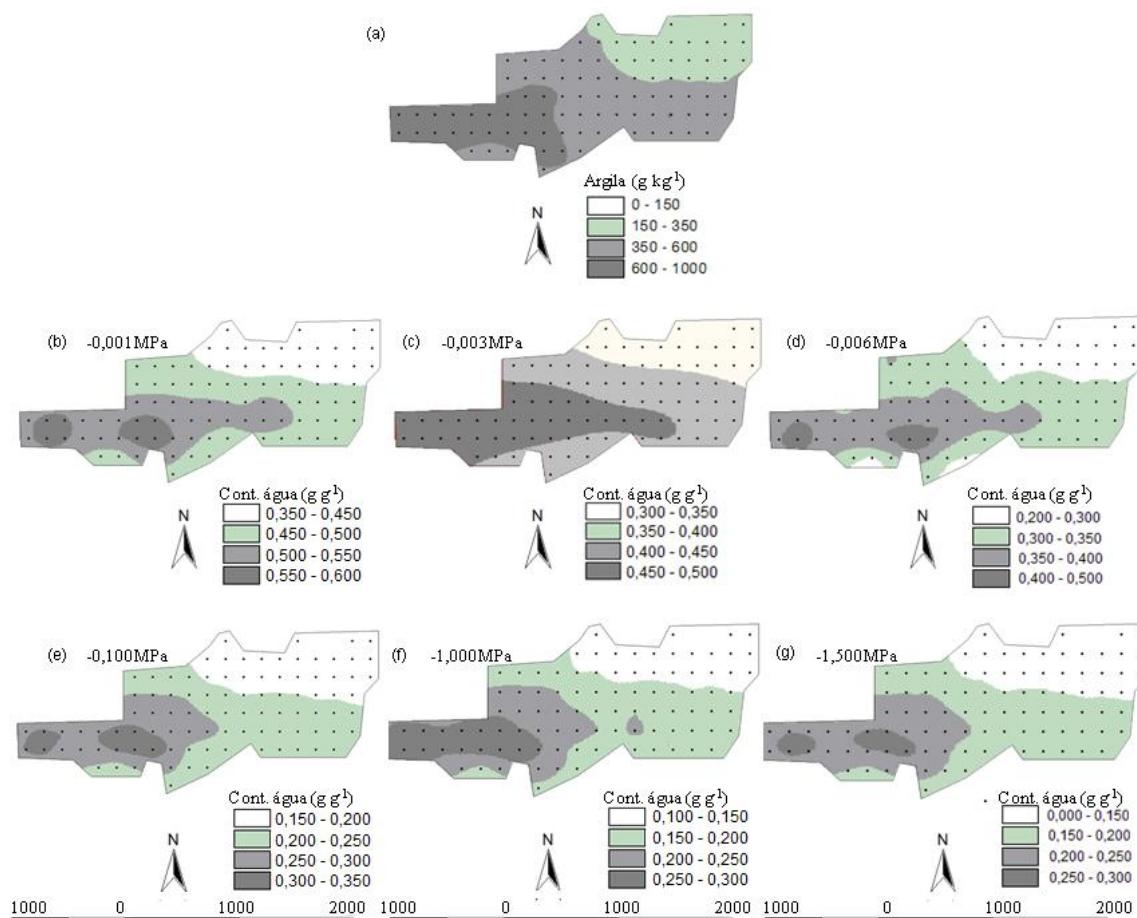


Figura 1 - Distribuição espacial da argila (a) e dos conteúdos de água equivalente aos potenciais -0,001 (b), -0,003 (c), -0,006 (d), -0,100 (e), -1,000 (f), e -1,500 kPa (g), expressos em g g^{-1}