

Revista  
**Ciência, Tecnologia & Ambiente**

---

**Mapeamento digital de atributos e classes de solos da  
UFSCar- Araras/SP**

Fernando A. Yoshida<sup>1</sup> e Rubismar Stolf<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MSc. em Agricultura e Ambiente do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, Analista Geográfico e Técnico em Geoprocessamento na HERE Maps do Brasil. fernandoyoshida@gmail.com

<sup>2</sup>Professor Titular do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, campus de Araras – SP. www.cca.ufscar.br/dmnpa/hprubismar.htm

---

**RESUMO**

O Mapeamento Digital de Solos (MDS) é uma ferramenta importante para estudos da conservação e do gerenciamento de recursos naturais. Sua execução requer o conhecimento pedológico, a compilação de dados ambientais (clima, geologia, vegetação e relevo) seguida da análise e interpretação de dados e imagens. O objetivo do presente estudo foi levantar dados da área experimental do Centro de Ciências Agrárias (CCA-UFSCar, campus de Araras-SP) e transformá-los em imagens da distribuição espacial de características geomorfológicas e de atributos físicos e químicos do horizonte superficial. Para tal, aplicou-se a metodologia geoestatística para mapeamento digital de solos, utilizando-se a Krigagem no modelo de semivariograma exponencial. Foi possível expressar a distribuição das áreas (quadras), o relevo, a distribuição das classes de solos, bem como os teores de areia, argila, pH, matéria orgânica (M.O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de bases (V%) do horizonte Ap. A metodologia empregada disponibilizou uma visualização espacial dessas informações, sobre a área de estudo, tão intensamente utilizada na pesquisa, pelo extinto IAA-Planalsucar de 1973 a 1990 e, a partir do ano de 1991, pela UFSCar, constituindo-se em ferramenta auxiliar na análise e interpretação de trabalhos científicos conduzidos nesta estação experimental.

**Palavras-chave:** geoestatística, krigagem, distribuição espacial, estação experimental

---

**ABSTRACT**

The Digital Soil Mapping, DSM, is essential to the conservation and management of natural resources. Its implementation requires the soil knowledge, the compilation of environmental data (climate, geology, vegetation and topography) and the analysis and interpretation of data and images. The primary objective was to join information about the area under study; turn them into images of the spatial distribution of geo-morphological characteristics of the area. To this was applied geostatistical methodology to digital soil mapping, using the Kriging in exponential semivariogram model. It was possible to express the distribution of the areas (blocks), the relief, the spatial distribution of classes of soils, as well as sand, clay, pH, organic matter (OM), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminum (Al), potential acidity (H + Al), sum of bases (SB), cationic exchange capacity (CEC) and percentage of bases (V%) of the Ap horizon. The methodology released a spatial visualization of this information on the study area, so intensely used in the research since 1973 to 1990, by the former Planalsucar and thereafter by UFSCar. thus becoming an auxiliary tool in the analysis and interpretation of scientific work conducted in experimental station.

**Keywords:** geo-statistics, kriging, spatial distribution, experimental station

## INTRODUÇÃO

O Mapeamento Digital de Solos (MDS) pode ser definido como a criação e a disseminação de sistemas de informação espacial em solos por modelos numéricos, inferindo a variação espacial e temporal de propriedades e tipos de solos através da observação destes e das variáveis ambientais relacionadas (Lagacherie and Mcbratney, 2007; Carvalho et al., 2009).

Segundo Landim (2003), a geoestatística é um ramo da estatística que une o conceito de variáveis aleatórias com o conceito de variáveis regionalizadas, gerando um novo conceito de funções aleatórias, que são posteriormente processadas por aplicativos computacionais. Inúmeros métodos de interpolação, com diversos níveis de complexidade, estão disponíveis na literatura (Carvalho et al., 2002). Nos estudos de distribuição espacial dos tipos de solos, a literatura sugere diversos métodos geoestatísticos dos quais a Krigagem (KRIG), estimador linear não viciado que leva em consideração a estrutura de variabilidade encontrada para o atributo, traz resultados comprovados e possui muita aplicabilidade (Vieira, 2000; Mello et al, 2003).

Desde longa data, como se verifica em Kupper et al. (1960), Melfi et al. (1966), Rotta et al. (1971) e Lepsch and Valadares (1975), os locais destinados à experimentação agrícola têm sido objetos de estudos para disponibilizar elementos básicos para uso em pesquisa. O presente trabalho segue a linha desses autores, pois, segundo os mesmos, a importância desses estudos é disponibilizar informações a pesquisadores, uma vez que isto proporcionará elementos auxiliares à interpretação dos resultados experimentais. Trabalhos com a mesma finalidade são levados a efeito na atualidade, contudo, com ferramentas modernas, ou seja, com o emprego do mapeamento digital de área agrícola e ambiental para levantamentos de uso do solo (Rodrigues et al., 2001), para aplicação em estudos da fragilidade ambiental em áreas de proteção ambiental (Yoshida, 2015), para levantamento e distribuição de classes de solos (Caten et al., 2009), bem como para

estudos de variabilidade espacial dos elementos físico-químicos do solo (Clayton et al., 2011 que servirão de base metodológica.

O objetivo estabelecido é realizar um levantamento de dados já existentes da área destinada a experimentos do campus de Araras da UFSCar e transformá-los em imagens da distribuição espacial de atributos físico-químicos, de características geomorfológicas e de classes de solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado no estudo o seguinte material: GPS Garmin Oregon 400t; Bases Cartográficas IBGE: Carta Internacional ao Milionésimo 2000; software ArcGIS Desktop@ versão 9.3.1 (Esri, 2004) para as análises geoestatísticas e elaboração dos mapas; documentos relativos à área em estudo: levantamento pedológico detalhado (Lima Filho, 2000) e o levantamento planialtimétrico do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, Campus de Araras, SP (22° 21' 28" Sul, 47° 23' 60" Oeste, altitude 640 m).

### Geomorfologia da área

Para caracterização da área foram utilizados: o mapa de distribuição das quadras e respectivas áreas; o mapa planialtimétrico existente e, a partir da digitalização deste último, gerou-se o mapa topográfico da área. Essas informações foram utilizadas para promover uma discussão da geomorfologia da área.

### Distribuição espacial das classes de solo

Para gerar a distribuição espacial da variável "classes de solo" procedeu-se da seguinte maneira: por se constituir em uma variável qualitativa, atribuiu-se valores numéricos para as classes, em número de oito (valores de 1 a 8). Assim, esses valores atribuídos serviram de base, ou seja, de arcabouço para a aplicação do método geoestatístico, ou seja, a Krigagem Ordinária no modelo de Semivariograma Exponencial para a elaboração do mapa de distribuição espacial das classes de solos.

### Distribuição espacial de atributos físicos e químicos do solo

Os dados para gerar as distribuições espaciais de atributos físicos e químicos foram extraídos do mesmo levantamento do solo (Lima Filho, 2000), do horizonte Ap (0-20 cm): Areia, argila, Matéria Orgânica (M.O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC -capacidade de troca catiônica e porcentagem

de bases (V%). A tabela 1 contém os dados utilizados para esse fim. Calculou-se também o coeficiente de correlação linear, de Pearson, para a combinação, dois a dois, dos treze atributos e obteve-se o nível de significância estatística pelo teste t. O gradiente de cores empregado foi o mesmo para todos os atributos. O coeficiente de correlação foi utilizado para detectar mapas semelhantes quanto à distribuição espacial.

**Tabela 1.** Dados de Lima Filho (2000) utilizados para construir as representações espaciais de classes de solo, resultados de análise física e química do horizonte Ap, 0-20 cm.

CS	Quadras	Arg. %	Areia %	pH.KCl	P	MO	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V%
LVd	13;14;15	60	21	4,2	1	19	0,8	17	4	55	5,3	22	76,8	28
LVdf	10;11;12	48	26	5,4	8	30	1,3	41	17	28	0,3	59	87,3	68
LVdf+	1;2;3;4	55	16	4,5	34	24	2,6	30	11	25	0,3	44	69,0	64
LVdf+	5;6A;6B	61	19	5,9	1	16	0,5	17	5	18	0,3	23	40,5	56
NVdf	20;21;22;23;28; 29	49	37	4,2	4	24	0,9	12	4	33	5,0	17	49,9	34
NVdt	31 Mata	50	17	5,0	7	43	2,4	48	9	25	0,5	59	84,4	70
NVef	30	50	21	6,2	8	30	1,6	64	12	19	0,5	78	96,6	80
PVd	24;25;26;27	49	35	4,9	2	27	0,7	34	13	36	0,8	48	83,7	57
PVd+	7(A;B);8;9;16;17; 18;19	52	35	5,3	5	30	2,0	33	14	31	0,3	49	80,0	61

CS: classes de solo.

LVd: Latossolo Vermelho Distroférico típico; textura argilosa; A modeado; caulínítico; mesoférico; catiônico.

LVdf: Latossolo vermelho distriférico típico; textura argilosa; A moderado; caulínítico – oxídico; catiônico.

LVdf+: Latossolo vermelho Distroférico típico; textura argilosa/muito argilosa (+); A moderado; caulínítico – oxídico; catiônico.

NVdf: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico; textura argilosa; A proeminente; caulínítico – oxídico; catiônico.

NVdt: Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico; textura argilosa; A chemozêmico, caulínítico; catiônico.

NVef: Nitossolo Vermelho Eutroférico latossólico; textura argilosa; A chemozêmico, caulínítico; catiônico.

PVd: Argissolo Vermelho Distrófico latossólico; textura argilosa/muito argilosa; caulínítico – oxídico; mesoférico; catiônico.

PVd+: Argissolo Vermelho Distrófico latossólico; textura muito argilosa (+); A moderado; caulínítico; mesoférico; catiônico.

M.O. e P ( $\text{g dm}^{-3}$ ); K, Ca, Mg, Al, H+Al e Soma de Bases SB ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ); ; CTC -Capacidade de Troca Catiônica ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ); V% - porcentagem de bases (SB/CTC)100.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras de 1 a 3 apresentam dados geomorfológicos da propriedade e a figura 4 uma imagem aérea da área. A figura 1, de uso da comissão de espaço físico do CCA, contém a divisão da área em quadras. A figura 2 e 3 contém informações sobre a topografia e hidrografia do local. A área da propriedade é de 225 ha, em formato aproximadamente retangular, fato que gerou talhões no formato de quadrado ou retângulo, denominado quadras (Figura 1).

A propriedade, de cerca de 1500 m de lado, ocupa uma encosta que tem início pouco abaixo do divisor de águas, na altitude de 710 m, e se estende até a

divisa norte correspondente ao antigo leito do córrego Araruna (Oliveira and Sais, 2015), 640 m de altitude (Figura 2).

Há três açudes: um menor em posição mais central e os outros dois, em sequência, que cobrem totalmente o leito do córrego Araruna, submerso, e que constitui a divisa norte. O açude a Noroeste (montante) alimenta o do lado Nordeste, servindo, o primeiro, para deposição de partículas de solo em suspensão. Esses dois últimos açudes foram construídos no início da década de 1970 para fins de irrigação. A água límpida do segundo serve até a atualidade para irrigação de toda a área, através de rede adutora de água.

As figuras 2 e 3 contêm representações do relevo. A encosta se desenvolve (de 710 a 640 m de altitude) em uma declividade média de 5 %. As menores declividades encontram-se na região mais alta (Sudoeste). Contudo, na região central que se estende até o açude menor encontram-se declividades de 14 %. Este local corresponde a uma pequena bacia interna que coleta água proveniente de várias minas intermitentes que formam o açude menor.

A vista aérea (Figura 4) não destaca essa ocorrência e, mesmo aos visitantes e ocupantes do CCA-UFSCar, campus de Araras é pouco perceptível. Contudo, esse acidente geográfico se destaca na figura 2 e, em especial, na figura 3, cuja representação torna o relevo proeminente por proporcionar uma aparência tridimensional pelo uso de cores. A figura 4 contém uma primeira representação espacial dos solos do CCA pela simples inclusão, interna às quadras, do tipo de solo.

O resultado em termos de desenvolvimento de um mapa de solos encontra-se na Figura 5. No referido mapa, verifica-se que os Latossolos ocupam a maior área dentre as classes de solo; formam um quadrilátero, constituído pelas classes LVd, LVdf e LVdf+, correspondente à região de menor declividade da propriedade. Este fato pode ser verificado na figura 2, pois a citada área contém as isolinhas de cota com maiores distâncias horizontais, portanto, menores declividades. Em seguida têm-se os Argissolos que ocupam uma faixa estreita na direção Sul-Norte, próxima da divisa leste (PVd e PVd+).

Finalmente, têm-se os Nitossolos: NVdf, NVdt, NVef que ocupam o terço inferior da encosta (Figura 5).

Os mapas de distribuição espacial dos 13 atributos constam das figuras de 6 a 18. Na tabela 2 são apresentados 78 coeficientes de correlação linear correspondentes a combinação dos citados treze atributos, tomados dois a dois. Desse total foram detectadas 28 correlações lineares significativas.

Por outro lado, quando existe uma forte correlação, porém inversa, isto é, negativa, os mapas se assemelham, porém com cores opostas: a região mais escura de um deles corresponde à região mais clara do outro. Assim, verifica-se, por exemplo, esse

comportamento entre pH-KCl e Al ( $r=-70,0^*$ ), pela inversão de cores entre as figuras 8 e 14, pois os locais de maior pH correspondem aos locais de menores valores de Al e vice-versa.

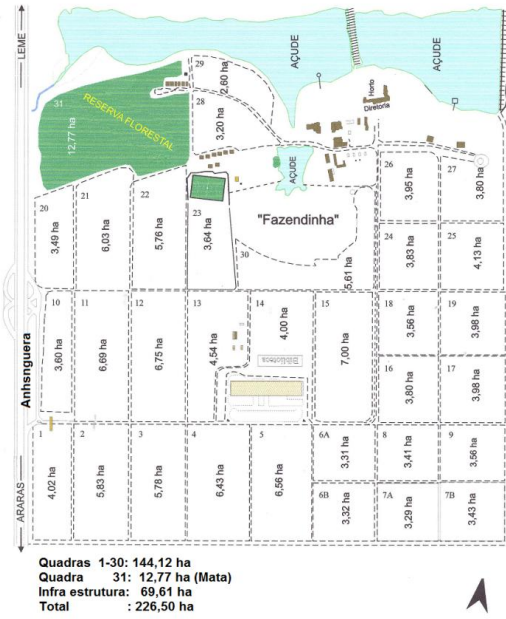
Ao analisar os atributos físicos, argila e areia, não se detectou correlação significativa entre essas variáveis, contrariando a regra de ocorrer correlações inversas significativas (Kiehl, 1979; Stolf et al., 2011). A argila correlacionou-se negativamente com a matéria orgânica, contrariando também o comportamento usual de apresentar correlações positivas (Kiehl, 1979). A areia, por sua vez, também apresentou um comportamento atípico, com ausência de correlação significativa com qualquer um dos 11 atributos químicos. Uma possível explicação pode estar na distribuição espacial da argila (Figura 7), com valores elevados e pouco variáveis (48 a 60 %) e, em relação à areia, (Figura 6), baixos valores e não muito variáveis.

Há coeficientes positivos de correlação linear, significativos, de interesse da química e fertilidade do solo para análise: CTC X MO; CTC X SB; V% X MO; V% X pH-KCl; V% X SB, assim como coeficientes de correlação significativos, porém negativos, de comportamento inverso das variáveis: SB X Al; Al X Ca; Al X Mg; Al X V%.

## CONCLUSÕES

Ao considerar que se realizou um levantamento para aproveitamento de dados já existentes sobre a área, sem a especificidade necessária, concluiu-se pela viabilidade de se aplicar ferramentas de geostatística para o aproveitamento em mapas de variação espacial.

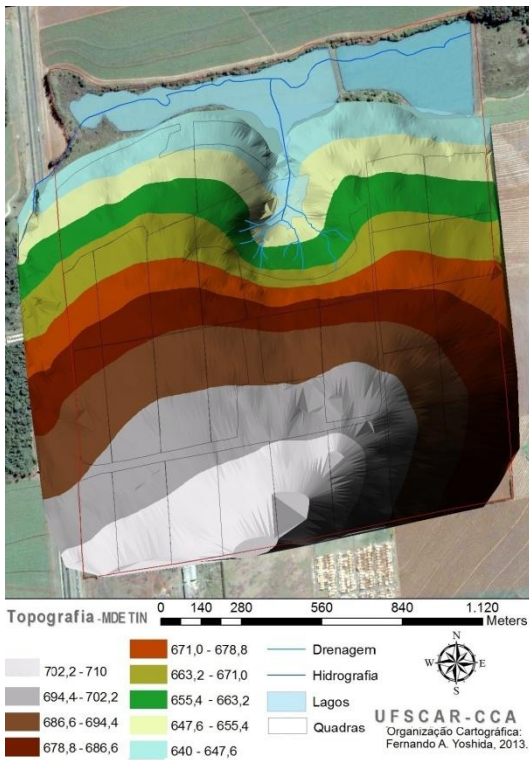
Dessa forma, o estudo atendeu o objetivo de disponibilizar à sociedade científica mapas de distribuição espacial de características geomorfológicas, dentre eles, mapa de relevo, mapas de distribuição espacial de classes de solo e de atributos físicos e químicos do solo, sobre a área tão intensamente utilizada pela pesquisa de 1973 a 1990, pelo extinto IAA-Planalsucar e a partir de 1991 pelo campus de Araras da UFSCar, constituindo-se em ferramenta auxiliar na análise e interpretação de trabalhos científicos conduzidos nesta estação experimental.



**Figura 1.** Quadras numeradas e respectivas áreas (ha) do CCA.



**Figura 2.** Altimetria com isolinhas de altitude de 2 em 2 m de distância vertical.



**Figura 3.** Altimetria em cores, realçando o relevo.



**Figura 4.** Classes de solo por quadra.



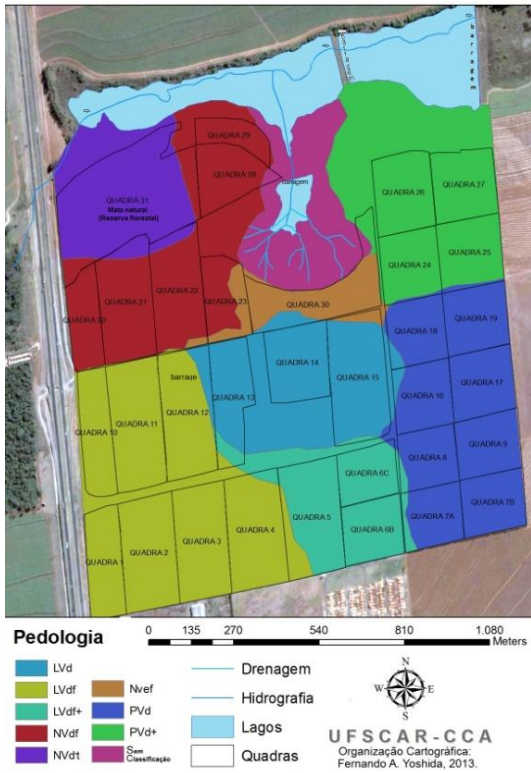


Figura 5. Distribuição espacial de classes de solo.

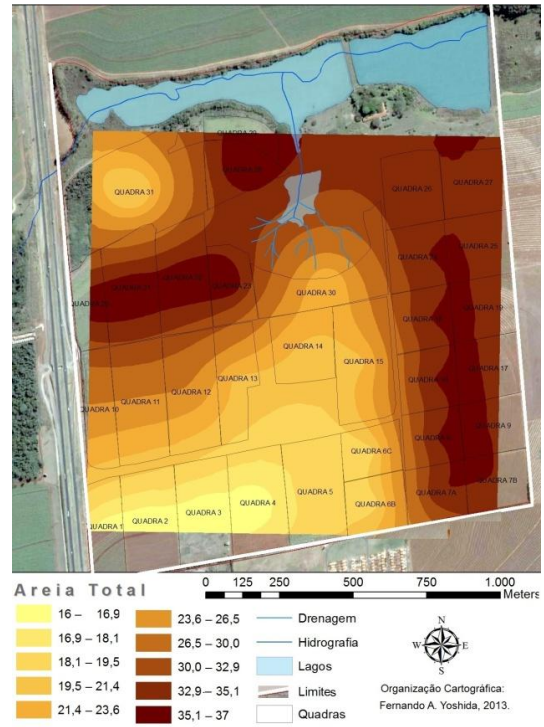


Figura 6. Distribuição espacial dos teores de Areia (% massa).

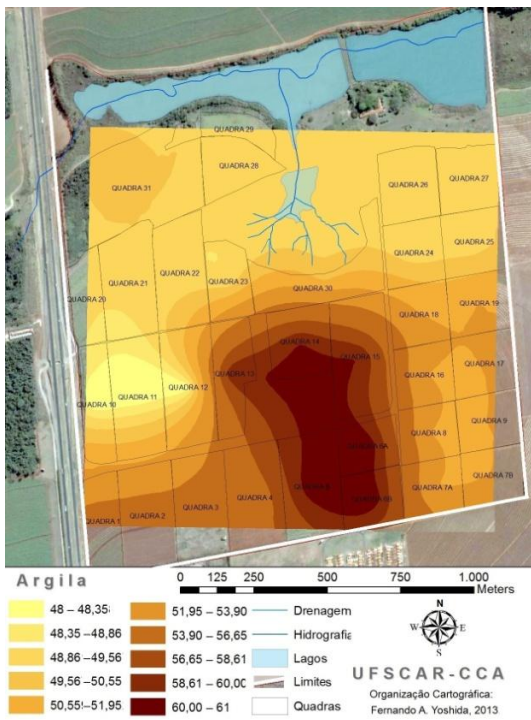


Figura 7. Distribuição espacial dos teores de Argila (% massa).

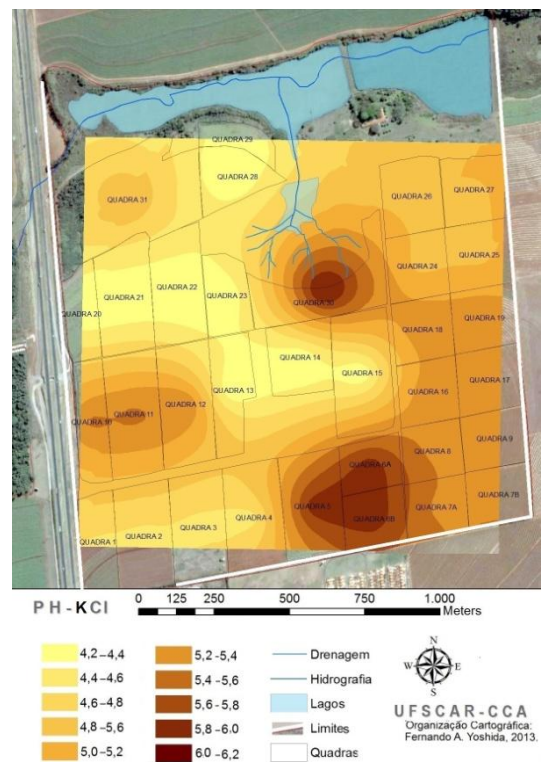
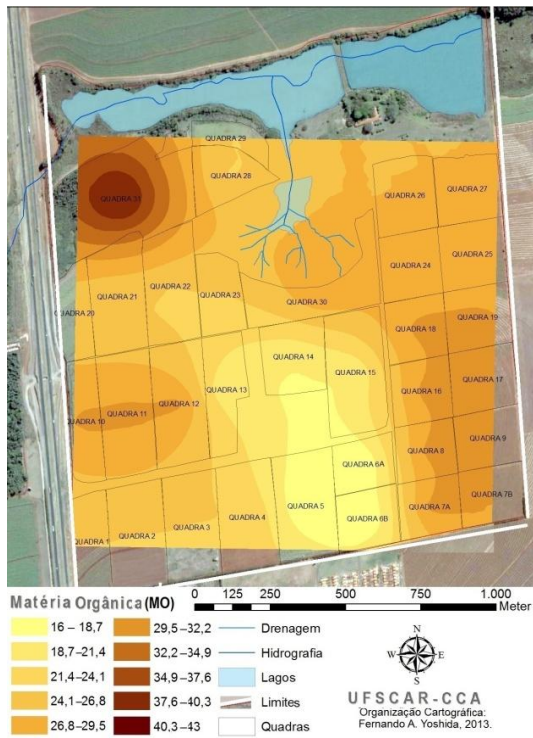
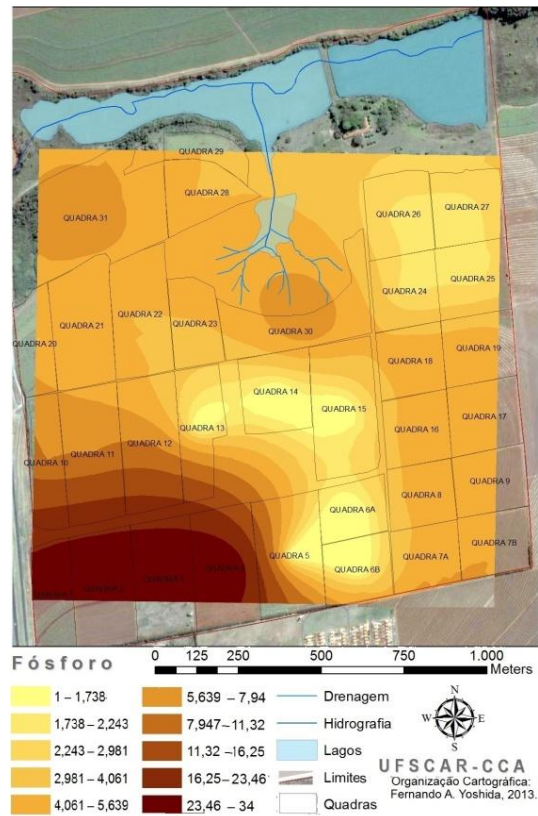


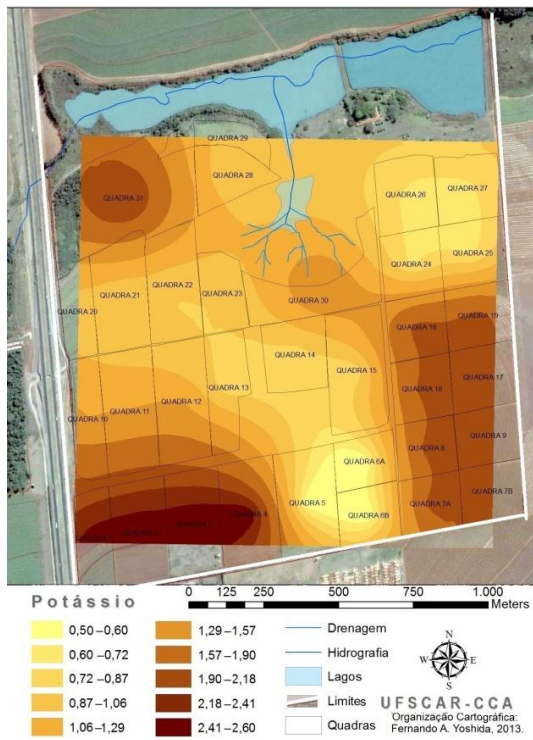
Figura 8. Distribuição espacial dos valores de pH-KCl.



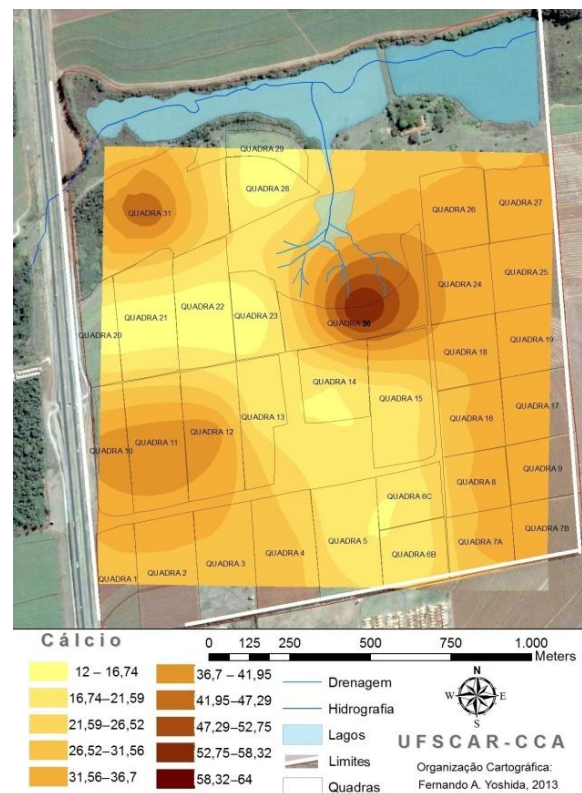
**Figura 9.** Distribuição espacial de MO - Matéria orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ).



**Figura 10.** Distribuição espacial dos teores de P-fósforo ( $\text{g dm}^{-3}$ ).



**Figura 11.** Distribuição espacial dos teores de K-potássio ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ).



**Figura 12.** Distribuição espacial dos teores de Ca - cálcio ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ).



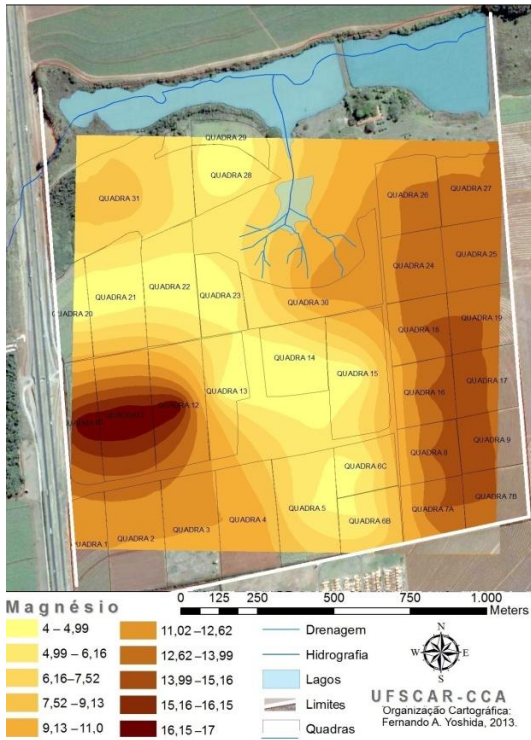


Figura 13. Distribuição espacial dos teores de Mg - Magnésio ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ).

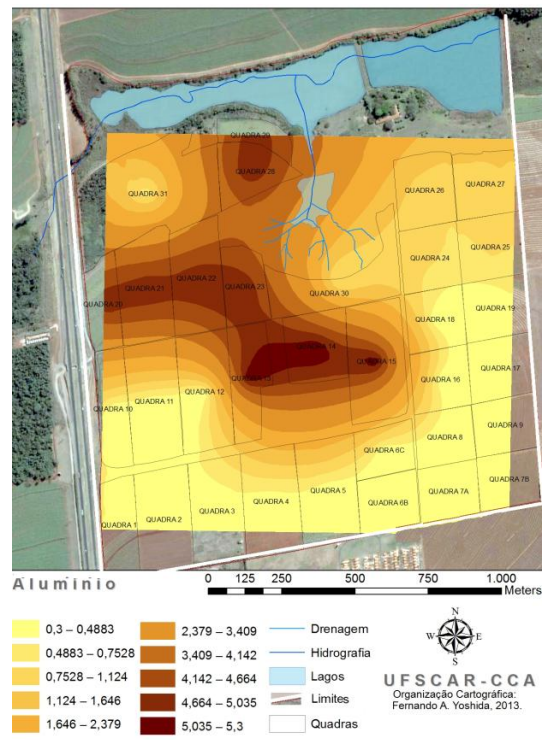


Figura 14. Distribuição espacial dos teores de Al - alumínio ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ).

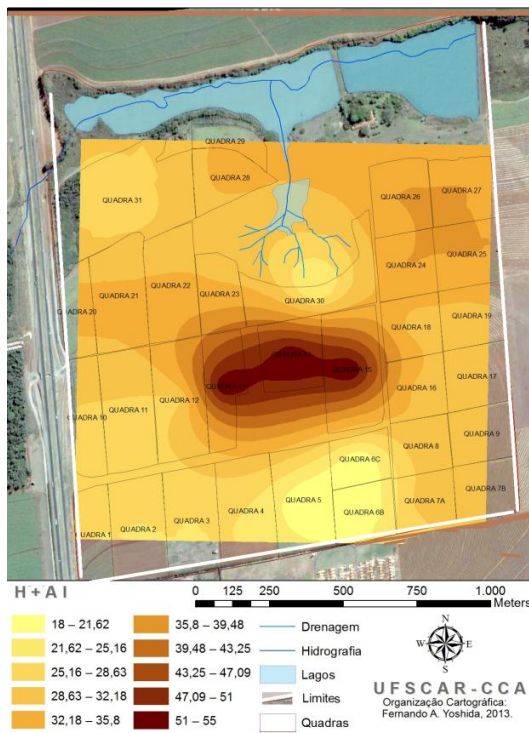


Figura 15. Distribuição espacial da acidez potencial: H+Al ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ).

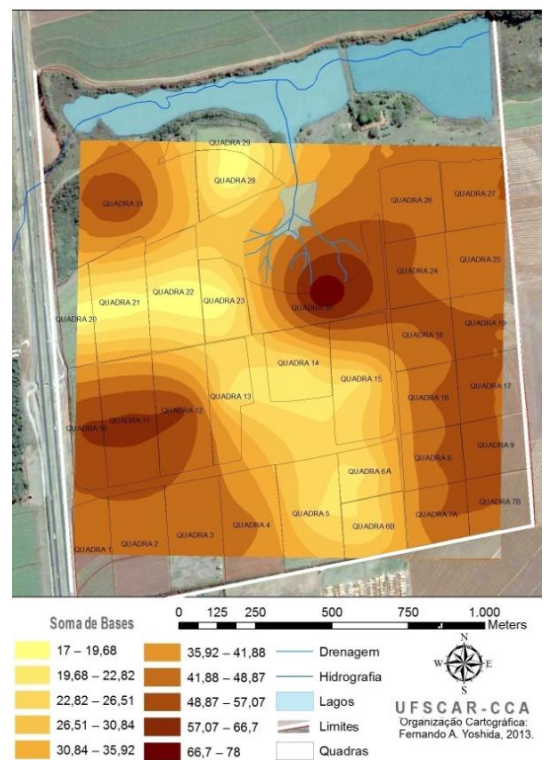
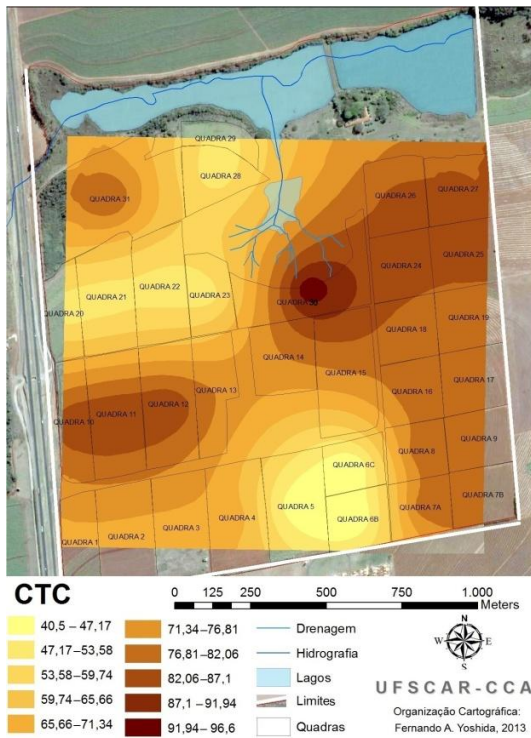
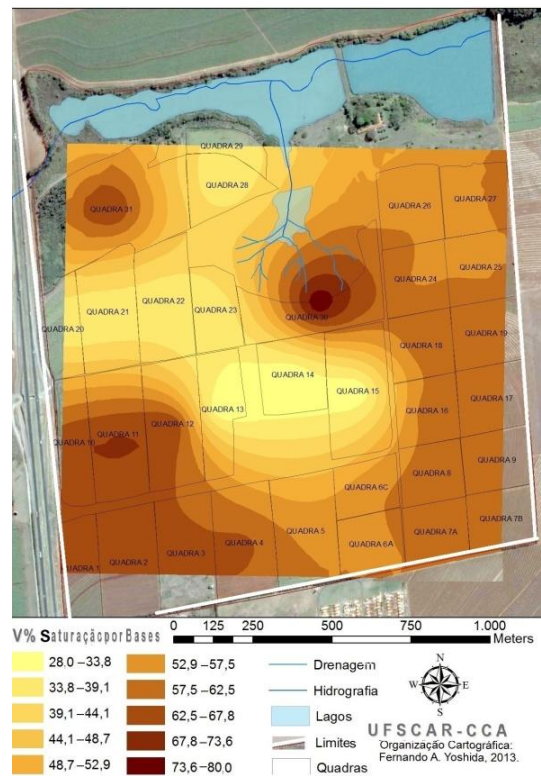


Figura 16. Distribuição espacial SB -Soma de Bases ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ).





**Figura 17.** Distribuição espacial da CTC -Capacidade de Troca Catiônica ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ).



**Figura 18.** Distribuição espacial de V% (percentagem de bases).

**Tabela 2.** Coeficiente de correlação de Pearson ( $r\%$ ) entre os atributos do solo. Significância estatística segundo o teste t.

	Arg	Areia	pHKCl	P	MO	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC
<b>Arg</b>												
<b>Areia</b>	-49,0											
<b>pH KCl</b>	-5,4	-20,8										
<b>P</b>	-1,9	-43,0	-18,5									
<b>MO</b>	-69,7*	-3,5	13,8	6,6								
<b>K</b>	-25,9	-36,8	-2,1	71,6*	63,9 <sup>&amp;</sup>							
<b>Ca</b>	-52,8	-26,2	60,7 <sup>&amp;</sup>	15,4	70,7*	49,3						
<b>Mg</b>	-59,9 <sup>&amp;</sup>	16,0	40,5	25,4	48,1	39,0	64,7 <sup>&amp;</sup>					
<b>H+Al</b>	20,6	27,6	-71,5*	-29,4	-25,7	-32,5	-46,1	-29,2				
<b>Al</b>	20,2	26,3	-70,0*	-32,0	-38,6	-44,2	-60,4 <sup>&amp;</sup>	-70,4*	74,7*			
<b>SB</b>	-57,3	-19,3	59,2 <sup>&amp;</sup>	21,4	70,3*	52,7	98,4**	77,1*	-45,9	-67,3*		
<b>CTC</b>	-52,0	-4,8	21,8	6,4	63,8 <sup>&amp;</sup>	39,9	81,8**	68,7*	10,0	-29,7	83,8**	
<b>V%</b>	-41,1	-32,4	73,8*	33,5	58,6 <sup>&amp;</sup>	55,1	86,8**	71,4*	-77,2*	-89,8**	89,5**	52,9

Teste t: (\*\*)  $p < 0,01$  (6 casos); (\*)  $p < 0,05$  (14 casos); (<sup>&</sup>)  $p < 0,10$  (8 casos).

No total, são disponibilizados para uso 28 correlações significativas entre as variáveis, bem como os mapas de distribuição espacial.

## REFERÊNCIAS

CARVALHO, C.C.N., ROCHA, W.F., UCHA, J.M., 2009. Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando interferência fuzzy. *Revista*

*Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 13, no. 1, pp. 46–55. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000100007>.

CARVALHO, J.R.P., SILVEIRA, P.M., VIEIRA, S.R., 2002. Geoestatística na determinação da

- variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 37, pp. 1151-9. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800013>.
- CATEN, A.T., DALMOLIN, R.S.D., PEDRON, F.A., QUOOS, J.H., 2009. Mapeamento Digital: Probabilidade Associada à Distribuição Espacial de Classes de Solos. *Geomática*, vol. 4, no. 2, pp. 87-97.
- CLAYTON, A.A., GONÇALVES, J.L.M., VIEIRA, S.R., SILVA, C.R., FRANSICATTE, W., 2011. Spatial variability of physical and chemical attributes of some forest soils in southeastern of Brazil. *Scientia Agricola*, vol. 68, no. 6, pp. 697-705. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000600015>.
- ESRI. ArcGis Help-Geostatistical Analyst, 2015. Viewd 15 October 2015. Available from: [http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Performing\\_cross\\_validation\\_and\\_validation/003100000059000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Performing_cross_validation_and_validation/003100000059000000/).
- MELFI, A.J., GIRARDI, V.A.V., MONIZ, A.C., 1966. Mineralogia dos solos da série Taquaral na Estação Experimental "Theodoreto de Camargo" – Campinas. *Bragantia*, vol. 25, no.1, pp. 9-30. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051966000100002>.
- KIEHL, E.J., 1979. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Ceres. 262 p.
- KUPPER, A., VERDADE, F.C., HUNGRIA, L.S., RUSSO, R., 1960. Levantamento pedológico da estação experimental de Pindamonhangaba. *Bragantia*, vol. 19, pp. 838-849. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051960000100052>.
- LAGACHERIE, P.P. and MCBRATNEY, A.B., 2007. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. In: P. LAGACHERIE, A. MCBRATNEY, M. VOLTZ, orgs. *Digital soil mapping: an introductory perspective*. Amsterdam: Elsevier, pp. 3-22.
- LANDIM, P.M.B., 2003. *Análise estatística de dados geológicos*. 2.ed. São Paulo: UNESP. 253 p.
- LEPSCH, I.F and VALADARES, J.M.A.S., 1975. Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Pindorama, SP. *Bragantia*, vol. 35, no. 1, pp. 13-40. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051976000100002>.
- LIMA FILHO, S.A., 2000. *Levantamento pedológico detalhado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos*. Araras: Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, UFSCAR. 17 p. (Boletim Técnico).
- MELLO, C.R., LIMA, J.M., SILVA, A.M., MELLO, J. M., OLIVEIRA, M.S., 2003. Krigagem e inverso do quadrado da distancia para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas Intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 27, no. 5, pp. 925-933. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500017>.
- OLIVEIRA, R.E. and SAIS, A.C., 2015. Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do córrego Araruna para restauração florestal em áreas produtoras de água, Araras-SP. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, vol. 2, no. 1, pp. 26-32.
- RODRIGUES, J. B. T., ZIMBACK, C. R. L., PIROLI, E.L., 2001. Utilização de Sistema de Informação Geográfica na Avaliação do Uso da Terra em Botucatu (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 25, no. 3, pp. 675-681. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000300016>.
- ROTTA, C.L., JORGE, J.A., OLIVEIRA, J.B., KUPPER, A., 1971. Levantamento pedológico detalhado da estação experimental de Monte Alegre do Sul, SP. *Bragantia*, vol. 30, no. 2, pp. 215-276. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051971000200012>.
- STOLF, R., THURLER, A.M., BACCHI, O.O.S., REICHARDT, K., 2011. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35. No. 2, pp. 447-459. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200014>.
- VIEIRA, S.R., 2000. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: R.F. NOVAIS, V.H. ALVAREZ, C.E.S. CHAEFER, orgs. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. pp. 1-54.
- YOSHIDA, F.A., 2015. *Distribuição Espacial da resistência do solo vista sob o prisma da fragilidade ambiental para a área de proteção ambiental (APA) de Botucatu*. Araras: Universidade Federal de São Carlos. 79 p.

Dissertação de mestrado em Agricultura e Ambiente.

ZIMBACK, C.R.L., 2001. *Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de*

*mapeamento da fertilidade do solo*. Botucatu: Universidade Estadual Paulista. 114p. Tese de Livre-Docência.