

ESTUDO DA CONTINUIDADE ESPACIAL DO SOLO COMO SUBSIDIO AO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DE CABECEIRA DO RIO GRANDE, MG.

José Alves Junqueira Júnior.¹; Carlos Rogério de Mello²; Antônio Marciano da Silva³.

RESUMO: O Objetivo deste trabalho foi diagnosticar o uso atual das terras por meio da continuidade espacial de alguns atributos do solo (Densidade do solo (Ds), Condutividade hidráulica (k_0) e Volume total de poros (VTP)), numa sub-bacia hidrográfica de cabeceira representativa da Serra da Mantiqueira, região Alto Rio Grande – MG. O uso atual do solo foi determinado com visitas a campo e por classificação de imagem de satélite. A amostragem e os testes de infiltração foram realizados na camada de 0 a 20cm de profundidade, obedecendo um grid regular de 300 x 300m com refinamento da escala em grid's de 60 x 60m e 20 x 20m, perfazendo um total de 198 pontos amostrados. Os dados foram submetidos à análise exploratória e ajustados à semivariogramas do tipo esférico, exponencial e gaussiano pelos métodos da máxima verossimilhança (MV) e quadrados mínimos ponderados (MQP). Utilizou-se o grau de dependência (GD) e a validação cruzada para a escolha do melhor modelo. De posse dos modelos indicados foi realizada a interpolação por Krigagem, observou-se que o uso do solo foi determinístico das condições de variabilidade espacial e estas se apresentam como indício de degradação do solo na vertente sul da sub-bacia.

ABSTRACT: The purpose of this study was to diagnose the current use of land through the spatial continuity of some attributes of soil (bulk density (Ds), hydraulic conductivity (k_0) and total volume of pores (TVP)), in the watershed of Serra da Mantiqueira, Alto Rio Grande region- MG. The current use of the soil was determined by field visits and by the classification of satellite images. The sampling and testing of infiltration took place in the layer of 0 to 20 cm deep, obeying a regular grid of 300 x 300m with refinement of the scale grid in the 60's and 20 x 60m x 20m, a total of 198 sampling sites. The data were submitted to exploratory analysis and adjusted the semivariograms of the boule type, exponential and Gaussian using the methods of maximum likelihood (ML) and weighted minimum squares (WMS). We used the degree of dependence (DD) and cross-validation to choose the best model. Possession of the models indicated was carried out by Krigage interpolation, it was observed that the use of soil was deterministic for the variability of

¹ Prof. MSc. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso-Campus Juina – junqueirajunior@yahoo.com.br – Av. Loderites Rosa Correia 326, módulo 3, Juina MT, 78320000.

² Prof. Adjunto da Universidade Federal de Lavras, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. crmello@ufla.br

³ Prof. Titular da Universidade Federal de Lavras, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. marciano@ufla.br

the conditions of space and these are presented as evidence of land degradation on the southern slope of the watershed.

Palavras chave: Geoestatística, Conservação do solo, Continuidade espacial.

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas em sub-bacias hidrográficas contribuem para a quebra do equilíbrio e para a diminuição dos recursos naturais das mesmas. O uso do solo como pastagem tem alterado a paisagem na região em estudo, pois é retirada a cobertura vegetal expondo o solo aos agentes erosivos, modificando as condições de infiltração de água no solo o que propicia o processo de assoreamento dos cursos d'água além de comprometer a recarga dos aquíferos e causar perda de água pelo escoamento superficial direto.

O solo é o principal recurso natural em sub-bacias hidrográficas, pois além de suporte físico é responsável pelo suporte de várias formas de vida. A falta de um manejo correto deste recurso natural expõe ecossistemas à degradação, comprometendo todos os demais recursos da sub-bacia Mesquita (2002).

A variabilidade espacial dos atributos do solo vem sendo intensamente estudada por meio da geoestatística, visando melhor analisar o comportamento da distribuição destes. De acordo com Lima & Silans (1999), os atributos físicos-hídricos do solo não são distribuídos espacialmente de modo desordenado, apresentando certa estrutura de correlação espacial, a qual deve ser avaliada com base no semivariograma.

Souza et al. (2004) relatam que entre os vários modelos de semivariogramas existentes, o esférico e o exponencial são os que mais se ajustam aos atributos do solo, enquanto que o método de ajuste mais empregado por softwares geoestatísticos comerciais tem sido o método dos mínimos quadrados ponderados (MQP), embora constem limitações sobre a sua aplicação (Diggle & Ribeiro Júnior, 2000).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi estudar a continuidade espacial e mapear os atributos, ko, Ds e VTP, associando o comportamento espacial dos mesmos ao uso atual do solo avaliando o estado de degradação da sub-bacia hidrográfica em questão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo.

A área de estudo possui 687 hectares e compreende a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão da Lavrinhas, o qual deságua diretamente no Rio Grande, principal formador do Reservatório da UHE de Camargos/CEMIG e Furnas, MG. Situa-se entre as coordenadas UTM “553842” e “557742” de longitude W e “7551369” e “7554369” de latitude S e entre as altitudes de 1144m e 1739m, no município de Bocaina de Minas. Esta sub-bacia foi escolhida previamente como sendo representativa da região da Serra da Mantiqueira, para estudos hidrológicos na região do Alto Rio Grande, sendo caracterizada como uma sub-bacia hidrográfica de cabeceira (Silva & Mello, 2005).

Segundo Giarola et al. (1997), o clima na sub-bacia hidrográfica, é do tipo Cwb de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado como mesotérmico de verões brandos e suaves e estiagem de inverno. A temperatura média anual é em torno de 18°, tendo no mês mais quente e no mês mais frio temperaturas médias de 25,6° e 13,1°, respectivamente, com ocorrência de geadas anualmente.

2.2. Determinação dos atributos estudados.

A densidade do solo (D_s) foi calculada seguindo metodologia descrita em EMBRAPA (1997):

$$D_s = \frac{m_s}{V} \quad (01)$$

em que D_s é a densidade do solo (g cm^{-3}), m_s representa a massa de solo seco em estufa (g) e V o volume de solo (cm^3).

A porosidade total calculada ou volume total de poros (VTP) foi obtido em porcentagem pela relação:

$$VTP = 100 \cdot \left(1 - \frac{D_s}{D_p} \right) \quad (02)$$

As medidas de condutividade hidráulica saturada foram obtidas utilizando-se o permeâmetro de fluxo constante (Permeâmetro de Ghelph – modelo 2800KI). Adotou-se o seguinte procedimento para realização dos testes em campo:

- a) em cada ponto amostral foi feito um furo de 0,03m de raio e 0,15m de profundidade;
- b) fixaram-se cargas hidráulicas de 0,05m e 0,10m dentro do furo para a realização das leituras de fluxo;
- c) foram feitas as leituras da altura da água em intervalos de tempo constantes (2 minutos), até que estas ficassem constantes, para ambas as cargas hidráulicas.

Os valores de k_0 foram obtidos pela expressão (03), de acordo com Aguiar (2001):

$$k_0 = 0,0041 \cdot X \cdot R_2 - 0,0054 \cdot X \cdot R_1 \quad (03)$$

em que k_0 é a condutividade hidráulica do solo saturado (cm seg^{-1}), posteriormente convertida para m dia^{-1} , X é a área do reservatório do aparelho ($35,39\text{cm}^2$), R_1 e R_2 são constantes de fluxo para as cargas hidráulicas de 0,05m e 0,10m, respectivamente ($\text{cm}^3 \text{seg}^{-1}$).

2.3. Determinação do uso atual do solo e pontos amostrados.

O mapa de uso atual do solo foi gerado a partir da interpretação visual em meio digital de imagem de satélite LANDSAT de outubro de 2005, com resolução espacial de 30 x 30 m. Para individualização das principais classes de uso na área foram utilizados os diferentes elementos de interpretação visual e também fichas de campo e fotos da área em estudo. As classes de uso definidas no trabalho foram: Mata Nativa (correspondentes aos fragmentos florestais), regeneração natural (representadas pelas áreas cobertas por vegetação em estágio médio a longo de regeneração), pastagem e vegetação de várzea.

A amostragem de solo e os testes de infiltração foram realizados na camada de 0 a 20cm de profundidade, seguindo um grid regular de 300 x 300m com refinamento da escala em grid's de 60 x 60m e 20 x 20m, além de dois transectos com distância de 20 metros entre pontos, perfazendo um total de 198 pontos amostrados. Na Figura 1, apresenta-se o plano amostral adotado neste estudo.

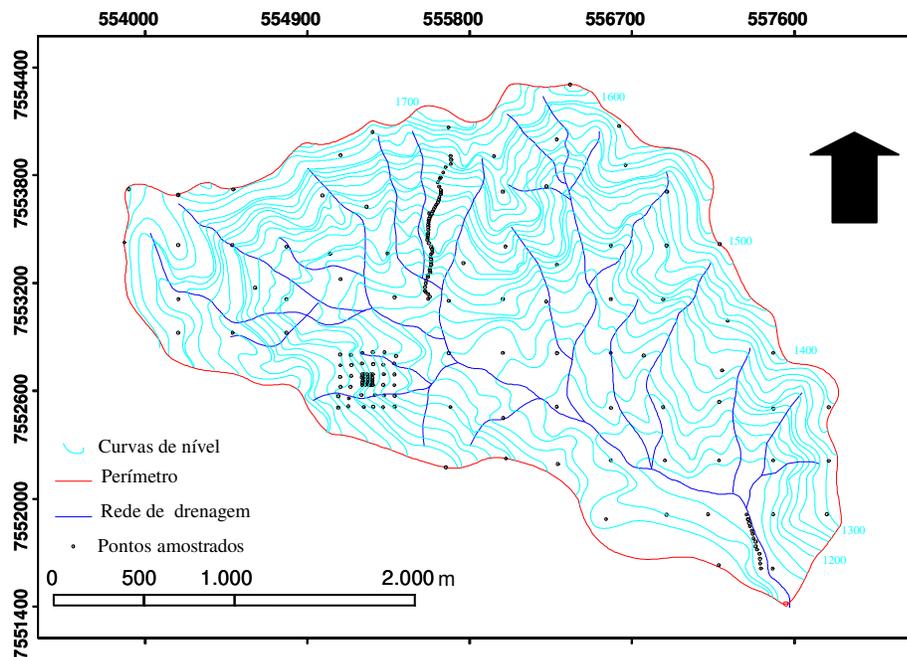


FIGURA 1. Sub-bacia com pontos amostrados para realização deste estudo.

2.4. Estudo da continuidade espacial dos atributos.

As análises espaciais foram compostas por um conjunto de procedimentos partindo do armazenamento dos dados de cada atributo e suas respectivas coordenadas geográficas em planilhas eletrônicas. Os procedimentos iniciais de análise dos dados incluíram a análise exploratória com a visualização dos dados através da confecção de gráficos para verificação de tendências, histogramas de frequência da diferença entre pares de pontos para verificação de normalidade bivariada e “boxplot” para a identificação de observações atípicas (*outliers*), conforme Mello (2004).

A partir da análise exploratória de dados, a geoestatística foi utilizada para estudar a variabilidade espacial bem como a escolha do modelo de semivariograma que melhor descrevesse a variabilidade dos dados. Após o cálculo das semivariâncias, foram ajustados os modelos de semivariogramas esférico, exponencial e gaussiano pelo método dos mínimos quadrados ponderados e máxima verossimilhança.

A avaliação do desempenho de cada modelo se deu através de dois critérios. Avaliou-se a razão entre a variância estrutural (C) e o patamar (C_0+C), expressa em porcentagem, pelo grau de dependência espacial (GD). Segundo Zimback (2001), o GD é dado por:

$$GD = \left(\frac{C}{C + C_0} \right) \times 100, \quad (04)$$

sendo que o GD é considerado fraco se essa razão for $\leq 25\%$, moderado quando a razão estiver entre 25% e 75% , e forte se a razão for $> 75\%$.

O outro critério de comparação do desempenho foi o procedimento de validação cruzada ("cross validation"), seguindo as recomendações de Cressie (1993) e Vieira (1998). Como a interpolação por krigagem está fortemente associada ao modelo de semivariograma escolhido, a validação cruzada foi usada para a decisão do modelo a ser ajustado, (Vieira et al., 1981).

A comparação entre os modelos, em cada método de ajuste, foi efetuada através do erro médio reduzido (\overline{ER}), desvio padrão dos erros reduzidos (S_{ER}) e do somatório do quadrado médio do erro ($\sum QME$). Segundo Mc Bratney & Webster (1986) e Cressie (1993), o erro médio reduzido é definido como:

$$\overline{ER} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{z(x_{i0}) - \hat{z}(x_{i0})}{\sigma(x_{i0})} \quad (05)$$

onde $z(x_{i0})$ é o valor observado no ponto $i0$; $\hat{z}(x_{i0})$ é o valor estimado para o ponto $i0$ e $\sigma(x_{i0})$ é o desvio padrão da krigagem no ponto $i0$. O desvio padrão dos erros reduzidos foi obtido a partir da seguinte equação:

$$S_{ER} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{z(x_{i0}) - \hat{z}(x_{i0})}{\sigma(x_{i0})} \right\}^2} \quad (06)$$

O erro reduzido médio mais próximo de zero e o desvio padrão próximo de um são os critérios para escolha do melhor modelo, além do menor somatório do quadrado médio do erro, representado pela equação 07.

$$\sum QME = \left(\frac{\sum_{i=1}^n [z(x_{io}) - \hat{z}(x_{io})]^2}{n} \right) \quad (07)$$

Após a escolha do modelo de semivariograma, foram realizadas interpolações por krigagem, para prever e mapear os valores dos atributos em estudo. O programa R, por meio do pacote GeoR, desenvolvido por Ribeiro Júnior & Diggle (2001), foi utilizado em todas as etapas das análises geoestatísticas, tanto exploratórias dos dados quanto geoestatísticas, seguindo instruções de Mello et al. (2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estudo da continuidade espacial dos atributos do solo.

A análise exploratória dos atributos está representada nas Figuras 2, 3 e 4. Inicialmente observa-se uma boa distribuição espacial dos dados em todas as direções da sub-bacia hidrográfica, ou seja, não existe nenhum tipo de tendenciosidade direcionada. A existência de tendências pode inviabilizar a aplicação da geoestatística, uma vez que a condição de não tendenciosidade é de fundamental importância, sendo exigida para aplicação da geoestatística.

A análise exploratória permitiu detectar que houve valores candidatos a “outliers”, estes pontos poderiam produzir alta variabilidade aos dados e distorção dos mesmos em torno da média, prejudicando a normalidade. Quando detectados pelos gráficos “boxplot”, estes valores foram comparados com seus vizinhos mais próximos, seguindo as recomendações de Libardi et al. (2006), e foram retirados quando apresentaram diferenças acentuadas.

O atributo ko apresentou o maior número de “outliers”, sete no total. Este fato também foi observado por Gomes (2005), o qual relata que tal atributo apresenta grande variabilidade espacial, e estrutura de dependência espacial indefinida. É possível observar que, mesmo após a remoção dos “outliers”, este atributo apresentou grande distorção em seu gráfico “boxplot” e distribuição assimétrica, com comportamento do histograma da diferença entre pares de pontos indefinido, o que pode ser um indício de maior dificuldade no ajuste de semivariogramas, principalmente pelo método da máxima verossimilhança.

Os demais atributos avaliados não apresentaram valores discrepantes, notando-se boa distribuição de freqüências em termos de normalidade, com o gráfico “boxplot” acusando boa distribuição dos dados.

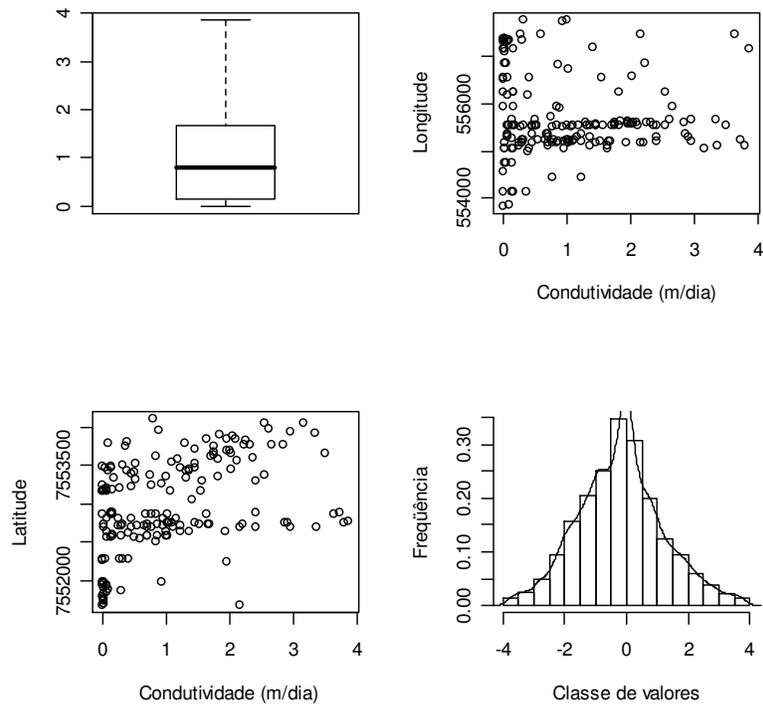


FIGURA 2. Gráfico do tipo boxplot, mapa de tendência e histograma das diferenças entre pares de pontos para o atributo Ko.

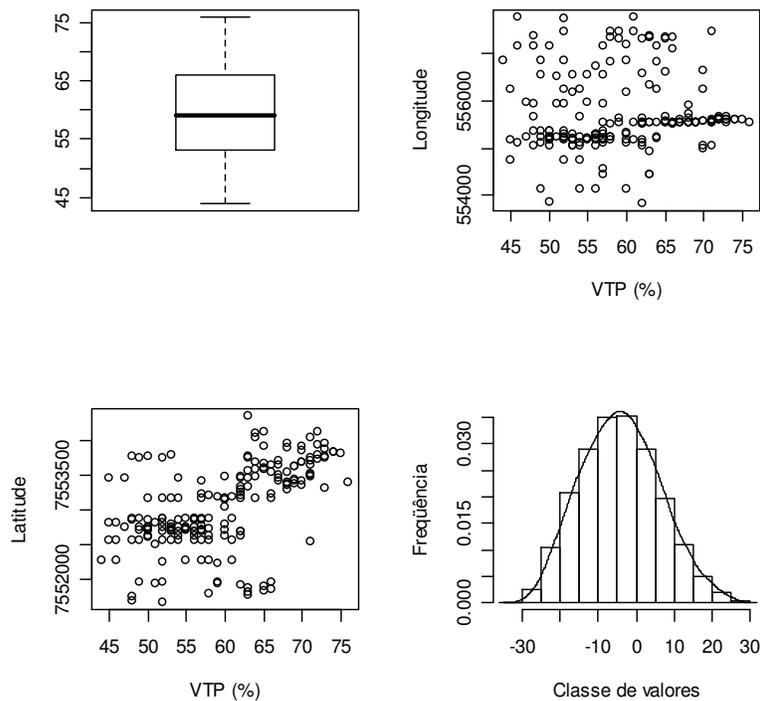


FIGURA 3. Gráfico do tipo boxplot, mapa de tendência e histograma das diferenças entre pares de pontos para o atributo VTP.

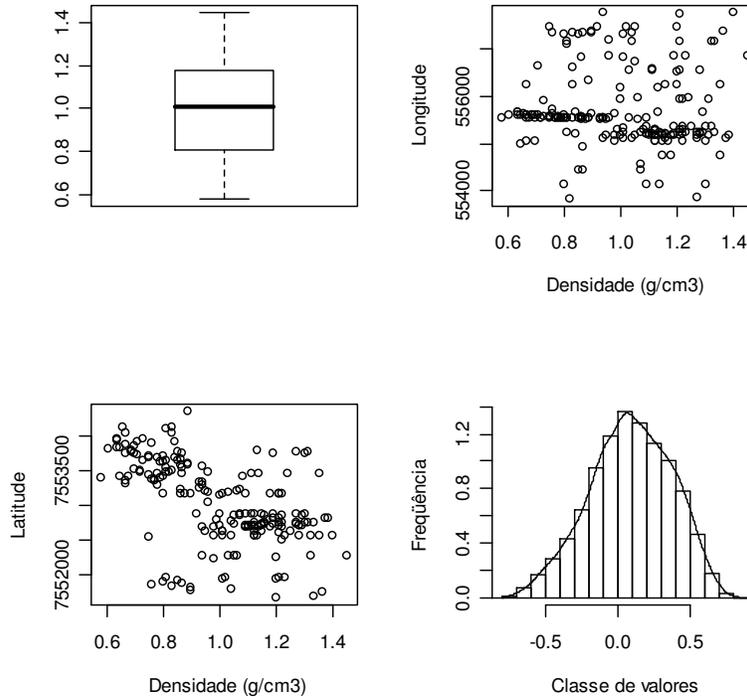


FIGURA 4. Gráfico do tipo boxplot, mapa de tendência e histograma das diferenças entre pares de pontos para o atributo Ds.

Na Figura 5, apresentam-se os modelos de semivariogramas ajustados pelas metodologias empregadas, para os atributos estudados na sub-bacia hidrográfica, percebe-se que os atributos VTP e Ds não se ajustaram por MV.

Analisando os semivariogramas visualmente, nota-se grande semelhança em seus comportamentos, principalmente àqueles ajustados por MQP, sendo muito difícil se determinar qual o melhor modelo para cada atributo avaliado. Percebe-se que em toda a extensão do semivariograma as curvas mantêm-se próximas, chegando a se tangenciarem em alguns casos, apresentando comportamento semelhante.

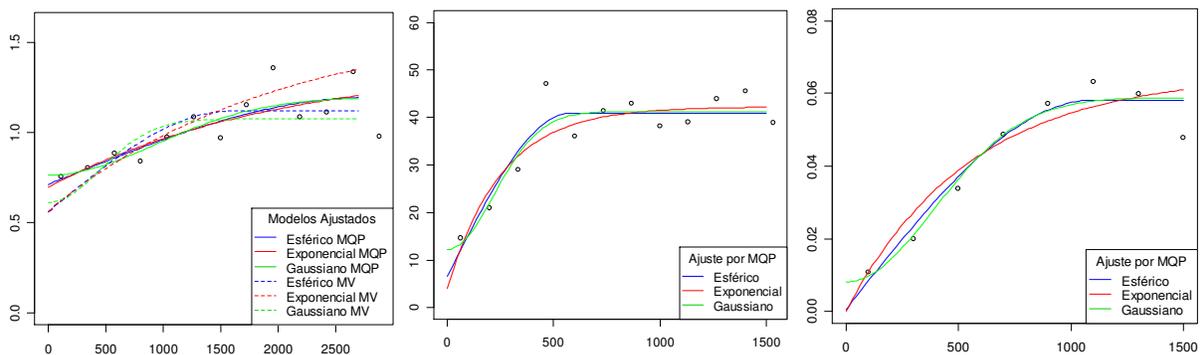


FIGURA 5. Semivariogramas ajustados para para os atributos Ko, VTP e Ds, respectivamente.

Segundo Mc Bratney & Webster (1986), a comparação entre modelos de semivariogramas ajustados por diferentes metodologias pode ser efetuada através do erro médio reduzido (\overline{ER}), desvio padrão dos erros reduzidos (S_{ER}) e do somatório do quadrado médio do erro ($\sum QME$). Visualiza-se na Tabela 1, os valores referentes a estes parâmetros gerados pela validação cruzada. Inicialmente, o que chama atenção é a grandeza do desvio padrão dos erros padronizados dos atributos VTP e Ds quando comparada à da ko, refletindo a alta variabilidade destes atributos. Com base nos valores das Tabelas 1, adotou-se para este trabalho o modelo gaussiano ajustado por mínimos quadrados ponderados para estudo da variabilidade espacial na sub-bacia hidrográfica para os atributos ko e o modelo esférico para os atributos VTP, com a mesma metodologia. O ajuste do modelo exponencial para o atributo Ds por MQP foi o que apresentou o menor erro médio e desvio padrão dos erros, além do menor quadrado médio dos erros sendo indicado para a krigagem deste atributo.

TABELA 1. Erro médio reduzido (\overline{ER}), desvio padrão dos erros reduzidos (S_{ER}) e somatório do quadrado médio do erro ($\sum QME$), gerados pela validação cruzada.

Atributos	Método	Modelo	\overline{ER}	S_{ER}	$\sum QME$
ko	MQP	Esf	-0,00057	0,92697	0,6581
		Exp	-0,00067	0,93450	0,6235
		Gaus	-0,00001	0,94012	0,5869
	MV	Esf	-0,00038	0,99843	0,6587
		Exp	-0,00062	0,99867	0,7564
		Gaus	0,00053	1,00055	0,6124
VTP	MQP	Esf	-0,01203	1,12443	0,000124
		Exp	-0,01520	1,17842	0,000256
		Gaus	-0,01310	1,14540	0,000245
Ds	MQP	Esf	0,01200	2,212947	0,00678
		Exp	0,00728	1,390092	0,00665
		Gaus	0,01177	1,469258	0,00691

3.2. Krigagem dos atributos e uso atual do solo.

Durante a primeira fase de campo deste trabalho, pode-se perceber a pequena diversidade de uso das terras da sub-bacia hidrográfica, sendo a maioria das propriedades voltadas quase exclusivamente à pecuária leiteira, sendo esta a principal atividade econômica da região.

A classificação de imagem para a sub-bacia foi realizada com o auxílio do Software ArcGIS apresentando 4 classes: mata nativa, pastagem, regeneração natural e vegetação de várzea.

Na tabela 2 apresentam-se os resultados do uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica.

TABELA 2. Uso do atual solo na sub-bacia do Ribeirão Lavrinhas.

Uso atual	Área (ha)	Percentual (%)
Mata Nativa	284,8	41,5
Regeneração	90,9	13,2
Pastagem	277,8	40,4
Vegetação de várzea	33,5	4,9
Total	687	100

Verifica-se a predominância de ocupação por mata nativa e pastagem devido à pecuária leiteira, seguida da regeneração e por último a ocupação por várzea. Na Figura 6 apresenta-se o mapeamento do uso atual do solo na sub-bacia gerado a partir da classificação da imagem.

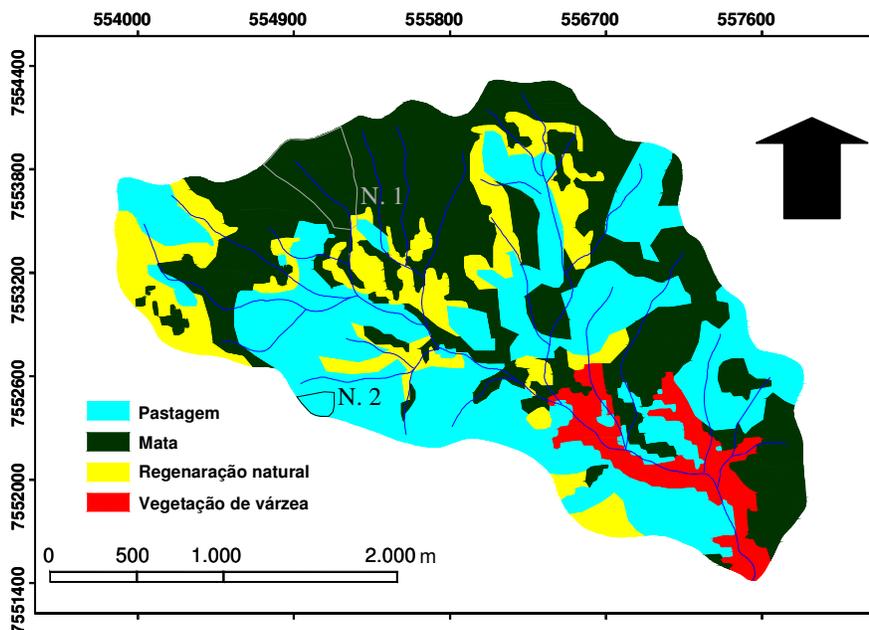


FIGURA 6. Uso atual do solo na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinhas, Bocaina de Minas, MG.

Por esta ser uma região bastante montanhosa e com pouca incidência de luz solar, a preferência para formação de pastagens é a face Sul da sub-bacia, onde a incidência de luz é maior que na face Norte, esta quase totalmente ocupada por mata atlântica.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os mapas da variabilidade espacial da densidade e da condutividade hidráulica do solo na sub-bacia, obtidos por meio da Krigagem.

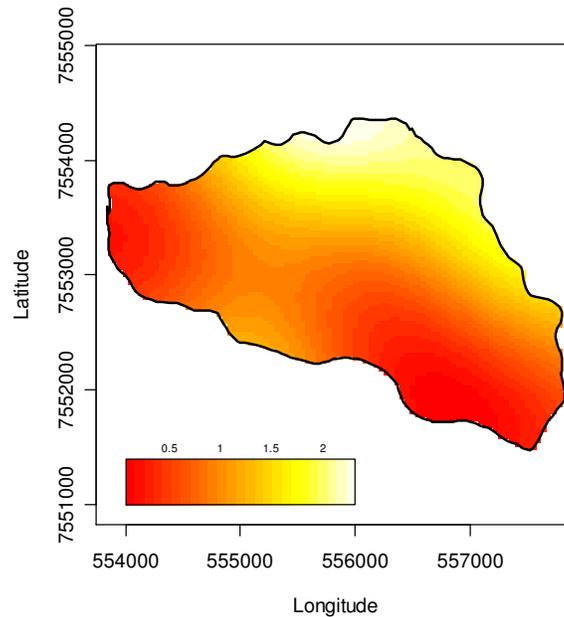


Figura 7. Distribuição espacial da Condutividade hidráulica do solo K_0 (cm/h) na sub-bacia hidrográfica.

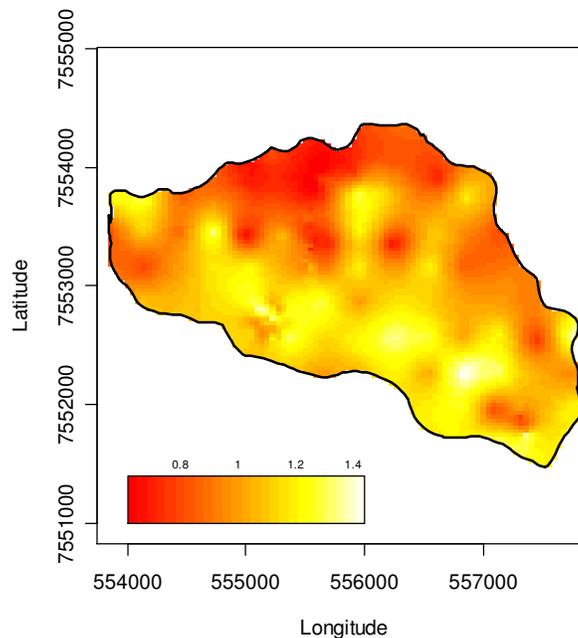


Figura 8. Distribuição espacial da densidade do solo (g/cm^3) na sub-bacia hidrográfica.

Pela tonalidade das cores, observa-se nitidamente a variabilidade espacial dos atributos estudados. Confrontando as Figuras 7 (k_0) e 8 (Ds), observam-se menores valores de densidade e maiores valores de condutividade hidráulica do solo na face Norte da sub-bacia, local onde a cobertura vegetal é de predominância de mata atlântica, o que confere ao solo boas características de infiltração além de um alto teor de matéria orgânica justificando sua baixa densidade.

Os maiores valores de densidade podem ser visualizados na face sul da sub-bacia, onde estão também os menores valores de condutividade hidráulica. Estes valores podem ser explicados pelo uso atual deste lado da sub-bacia, como já foi mencionado, ocupada integralmente por pastagens. Inúmeros estudos já comprovaram que o pisoteio de gado é um dos principais agentes causadores da compactação do solo. Segundo Bertol et al. (2000), o manejo dos animais sobre as pastagens implica em modificações nas características físicas do solo a longo e médio prazo. As pressões aplicadas pelo pisoteio do gado ocasionam modificações na densidade e na porosidade do solo, causando perturbação nas condições de infiltração e restringindo o fluxo de água no solo comprometendo assim a recarga do lençol, favorecendo o escoamento superficial e promovendo o assoreamento dos cursos d'água.

Estes valores de densidade podem estar sinalizando para um possível processo de compactação deste solo. Todavia, efeitos na porosidade podem se relacionar mais estreitamente à condutividade hidráulica e densidade do solo, dependendo do arranjo, uniformidade e forma das partículas, afetando a capacidade de armazenamento dos solos.

Desta forma, para um melhor entendimento do comportamento da dinâmica da água na sub-bacia é apresentado o mapa de VTP na Figura 9.

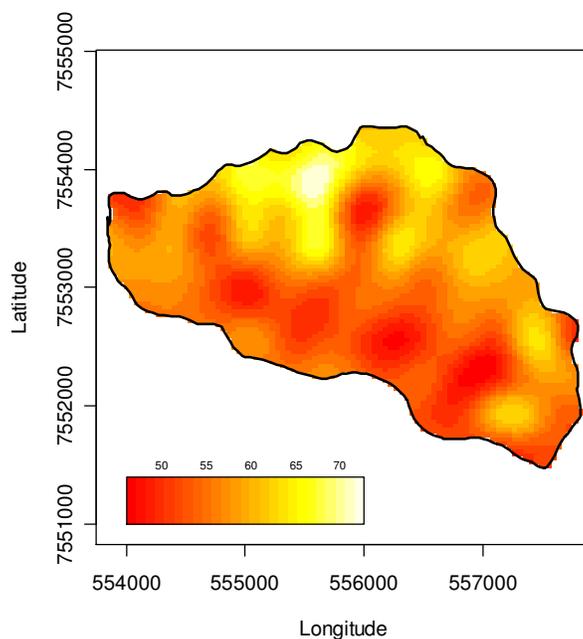


Figura 9. Distribuição espacial do volume total de poros (%) na sub-bacia hidrográfica.

Analisando-se o mapa referente ao VTP, percebe-se diferença considerável na tonalidade das cores quando se compara as áreas referentes ao uso atual do solo, com manchas indicativas de maiores percentuais deste atributo na região norte da sub-bacia hidrográfica, ocupada por mata nativa. Diante desta situação, há condições favoráveis ao acúmulo de serrapilheira, o que foi constatado na campanha de campo, culminando com a redução da D_s e aumento da k_o , possibilitando condições favoráveis à recarga dos aquíferos desta vertente da sub-bacia.

4. CONCLUSÕES

- Os atributos estudados apresentaram boa estrutura de dependência espacial.
- O estudo da variabilidade espacial da D_s , da k_o e do VTP do solo através de técnicas de geostatística como a Krigagem, mostrou-se importante na compreensão destes, podendo ser uma ferramenta fundamental para tomada de decisões a respeito da conservação e manutenção do solo.
- O uso do solo como pastagem tem alterado as condições de infiltração de água comprometendo a recarga dos aquíferos na vertente sul da sub-bacia.

5. REFERÊNCIAS

CRESSIE, N. A. C. **Statistic for spatial data**. Revised edition. New York: John Wiley, 1993. 900 p.

BERTOL, I.; ALMEIDA, A. de.; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem decapim-elefante-anão C.V. Mott. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35 n. 5, p. 1047-1054, maio 2000.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO Jr, P. J. Model based geostatistics. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 14., Caxambu, 2000. **Resumos...**: Associação Brasileira de Estatística, 2000. p. 192.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de solos**. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento. 1997. 212 p.

GIAROLA, M. F. B.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O. CHAGAS, C. S.; FERREIRA, M. M. Solos da região sob influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos (MG): **perspectiva ambiental. Convênio CEMIG/UFLA/FAEPE. Lavras: UFLA, 1997. 101 p.**

GOMES, N. M. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela na Região do Alto Rio Grande, MG.** 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)- UFLA, Lavras, MG.

LIBARDI, P. L.; FILHO, J. F. M. de. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica, em um experimento de perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 30, p. 197-206, 2006.

LIMA, C. A. G.; SILANS, A. P. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2311-2320, Dez., 1999.

Mc BRATNEY, A.G.; WEBSTER, A.G. Choosing functions for semivariograms and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v.37, p.617-639, 1986.

MELLO, J. M. **Geostatística aplicada ao inventário florestal.** 2004, 110 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais, com opção em Silvicultura e Manejo Florestal)- ESALQ, Piracicaba, SP.

MELLO, J. M.; BATISTA, J. L. F.; OLIVEIRA, M. S.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 113-126, abr/jun. 2005.

MESQUITA, H. A.; PAULA, M. B.; A. M. I. N. Indicadores de impactos das atividades agropecuárias. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 21, n. 202, p. 57-71, jan/fev. 2002.

RIBEIRO JR, P. P.; DIGGLE, P. P. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R - News**, Rochester, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. Estudos hidrológicos sobre o regime de escoamento das sub-bacias hidrográficas de drenagem da região Alto Rio Grande à montante da UHE de Camargos/CEMIG. Relatório final do Projeto P&D 076, CEMIG/ANEEL, 2005. 500 p.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 5, p. 491-499, maio 2004.

VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F.; MARIA, I.C. de. Uso de geoestatística no mapeamento de atributos de solo e planta (compact disc). In: **Congresso e feira para usuários de geoprocessamento da América Latina - GIS Brasil 98**, 4., Curitiba, 1998. Anais. Curitiba, 1998.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, n.6, p.1040-1048, 1981.

ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia), FCA/UNESP, 2001. 114p.