

## MAPEAMENTO DE ZONAS DE DEGRADAÇÃO FÍSICA A PARTIR DA KRIGAGEM INDICATRIZ DA DENSIDADE DO SOLO NA BACIA HIDROGRAFICA SANTA RITA, PELOTAS-RS

RÔMULO FÉLIX NUNES<sup>1</sup>; LEONIR ALDRIGHI DUTRA JUNIOR<sup>2</sup>; MAURICIO  
FORNALSKI SOARES<sup>2</sup>; TIRZAH MOREIRA SIQUEIRA<sup>2</sup>; LUÍS CARLOS TIMM<sup>2</sup>;  
CLÁUDIA LIANE RODRIGUES DE LIMA<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas– nunes.romulo@outlook.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas– leonirdutrajr@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas– mauriciofornalski@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – tirzahsiqueira@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – luisctimm@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas– clrlima@yahoo.com.br

### 1. INTRODUÇÃO

O excessivo preparo do solo e o tráfego de máquinas pesadas fazem com que as atividades agrícolas promovam a degradação do solo por compactação (FAO, 2015). Considera-se que o uso do solo demanda um planejamento adequado (DEMARCHI; ZIMBACK, 2014) e que o conhecimento dos atributos físicos do solo em escala de bacias hidrográficas poderia auxiliar na adaptação do manejo do solo e na conservação ambiental dessas áreas (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2014).

A bacia hidrográfica Santa Rita (BHSR), localizada em Pelotas, sul do Brasil, representa uma unidade de planejamento e gestão ambiental importante, com grande atividade de agricultura familiar. Dentre os indicadores de qualidade utilizados para inferir sobre solos sob atividades agrícolas, destaca-se a densidade do solo (CARVALHO et al., 2016; SALTON, 2015). Zonas de degradação física resultantes do manejo inadequado do solo podem ser identificadas com uso de técnicas geoestatísticas. Portanto o objetivo deste trabalho foi identificar áreas agrícolas com condições de densidade do solo inadequadas, a partir da técnica geoestatística de krigagem indicatriz, na BHSR, Pelotas-RS.

### 2. METODOLOGIA

Foi estabelecida na BHSR, uma malha experimental de 81 pontos amostrais com distribuição irregular, sendo 300 m o menor distanciamento entre os pontos. Em cada ponto amostral coletou-se uma amostra com estrutura preservada na camada de 0,075 – 0,125 m, para determinação da densidade do solo seguindo a metodologia proposta por EMBRAPA (2011).

Após, os dados de densidade do solo foram transformados em indicadores binários ( $i_{j(vc)}$ ). Para tanto, foi determinado o valor de corte (vc) proposto por REICHERT et al. (2003) de 1,64 Mg m<sup>-3</sup>, conforme a Equação 1. Os valores de densidade do solo iguais ou abaixo do valor de corte foram codificados com um valor indicador ( $i_j$ ) igual a um (1), enquanto acima, eles foram codificados com um valor indicador ( $i_j$ ) igual a zero (0).

$$i_{j(vc)} = \begin{cases} 1 & \text{se } i_j \leq 1,64 \text{ Mg m}^{-3} \\ 0 & \text{se } i_j > 1,64 \text{ Mg m}^{-3} \end{cases} \quad (1)$$

Posteriormente, foram realizadas as análises geoestatísticas utilizando os programas *SGeMS* (*Stanford Geoestatistical Modeling*; REMY et al., 2009). Primeiramente, foram modelados os semivariogramas experimentais direcionais dos indicadores em oito direções principais de busca: 0°, 22,5°, 45°, 67,5°, 90°, 112,5°, 135°, 157,5°, utilizando o estimador clássico de Matheron (MATHERON, 1963) para ajustar uma função matemática (semivariograma teórico) aos pontos de semivariâncias experimentais. A seguir foram obtidos os parâmetros efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C$ ), alcance ( $a$ ) e o modelo (Esférico; Exponencial; ou Gaussiano). A krigagem indicatriz foi aplicada considerando a variabilidade espacial modelada pelos semivariogramas utilizando a Equação (2) descrita por ISAACS; SRIVASTAVA (1989).

$$Zi^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Zi(x_i, vc) \quad (2)$$

Onde:  $Zi^*(x_0)$  probabilidade de ocorrência da densidade do solo no local desconhecido  $x_0$  ser menor ou igual a  $1,64 \text{ Mg m}^{-3}$  (escala decimal, de 0 a 1);  $Zi(x_i)$  é o valor do indicador medido na posição  $x_i$ ;  $\lambda_i$  é o coeficiente de ponderação de krigagem associado a cada indicador medido  $Zi(x_i)$  utilizado para estimar a probabilidade de ocorrência  $Zi^*(x_0)$ .

Como os valores de densidade do solo mais prejudiciais são aqueles acima de  $1,64 \text{ Mg m}^{-3}$ , o mapa de zonas de degradação foi definido pelo inverso do resultado da krigagem indicatriz (1 - Probabilidade de ocorrência obtida pela equação 2).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentados os valores da estatística descritiva da densidade do solo na BHSR. A densidade do solo apresentou média e mediana de  $1,52$  e  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ , respectivamente. Com desvio padrão de  $0,14 \text{ Mg m}^{-3}$ . Este valor baixo de desvio padrão indica que os dados amostrais tendem a estar próximos da média, corroborado pelo baixo coeficiente de variação (9,21%). A densidade do solo apresentou assimetria negativa (coeficiente de assimetria  $<0$ ), indicando que a média se move para o lado direito da distribuição de frequência. Em relação ao coeficiente de curtose, que indica o achatamento das distribuições, verificou-se que a maioria das variáveis é considerada leptocúrtica, com coeficiente de curtose maior que zero (0).

Tabela 1 – Resultados da estatística descritiva para a densidade do solo da bacia hidrográfica Santa Rita, Pelotas-RS.

Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Assimetria	Curtose
	( $\text{Mg m}^{-3}$ )		(%)		
1,52	1,55	0,14	9,21	-0,94	1,84

A Tabela 2 demonstra os resultados da modelagem dos semivariogramas para as oito direções de estudo. A densidade do solo apresentou anisotropia, sendo a direção de 0° a de maior continuidade espacial, com alcance de 510 m. Já a direção de menor continuidade foi a perpendicular (90°), com 200 m de continuidade. O modelo gaussiano foi o que melhor representou os pontos de semivariância experimentais, com efeito pepita (C0) de 0,01 e contribuição (C) de 0,165. O modelo de semivariograma dos indicadores da densidade do solo utilizado no algoritmo de krigagem indicatriz está representado pela Equação 3.

Tabela 2 – Parâmetros dos ajustes dos semivariogramas direcionais experimentais dos indicadores de densidade do solo, na bacia Santa Rita, Pelotas-RS.

Direção	Alcance (m)
<b>0°</b>	<b>510</b>
22,5°	459
45°	255
67,5°	205
<b>90°</b>	<b>200</b>
112,5°	462
135°	485
157,5°	408

$$\gamma(h) = 0,01 + 0,165 \text{ Modelo Gaussiano} \left( \frac{0^\circ}{510m}, \frac{90^\circ}{200m} \right) \quad (3)$$

Na Figura 1 é apresentado o mapa de probabilidade de ocorrência da densidade do solo estar acima do valor de corte 1,64 Mg m<sup>-3</sup>. Nota-se que a maior parte da BHSR (coloração azul), apresenta baixa probabilidade de ocorrência de estar degradada fisicamente com relação à densidade do solo, de acordo com o valor de corte considerado no trabalho e proposto por REICHERT et al. (2003).

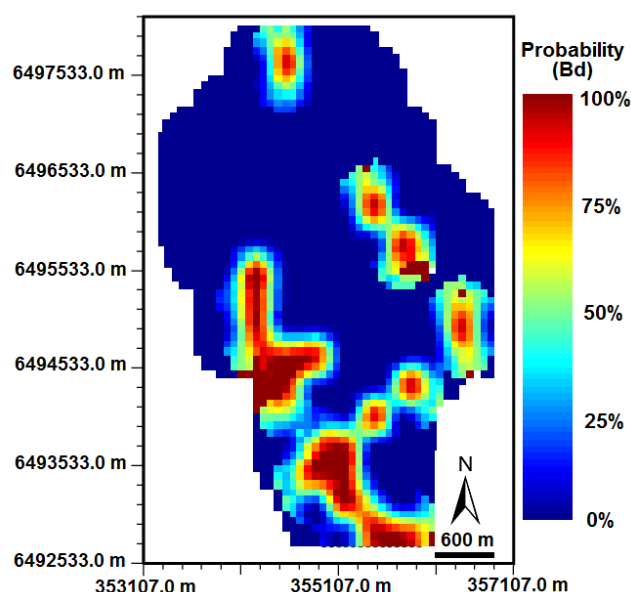


Figura 1 - Mapa de probabilidade de ocorrência da densidade do solo ser maior que o valor de corte: 1,64 Mg m<sup>-3</sup>, na bacia hidrográfica Santa Rita, Pelotas-RS.

Pequenas manchas vermelhas são observadas na parte inferior/direita, indicando condições inadequadas do solo, com alta probabilidade de ocorrência de valores acima do limite de corte. É importante ressaltar que, nessas áreas, o solo predominante é o Planossolo, sob as culturas de pastagem natural e agricultura. Os sistemas de uso da terra podem promover mudanças nas propriedades físicas e esse aumento na densidade do solo é promovido pelo pisoteio de animais, preparo intensivo do solo e tráfego de máquinas (VASCONCELOS et al. 2014; REICHERT et al. 2003).

#### 4. CONCLUSÕES

Com o valor de corte considerado para a krigagem indicatriz foi possível identificar potenciais áreas de degradação física em áreas agrícolas, com base na densidade do solo, na bacia hidrográfica Santa Rita.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, J. S. et al. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 51:1131-39, 2016.
- DEMARCHI J. C.; ZIMBACK C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do ribeirão das perobas. **Energia na Agricultura**, 29:102-114, 2014.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, **Manual de Métodos de Análise do Solo**, 3,ed, Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 230p, 2011.
- FAO and ITPS. **Status of the World's Soil Resources. Main report**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, 58(8):1246–66, 1963.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas, **Ciência & Ambiente**, 27:29-48, 2003.
- REMY, N.; BOUCHER, A.; WU, J. **Applied geostatistics with SGeMS: A user's guide**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- SALTON J. C. 20 Anos de Experimentação em Integração Lavoura-Pecuária na Embrapa Agropecuária Oeste: Relatório 1995-2015. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; 2015. (Documentos 130)
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. The ecology of UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa Reservoir) and its watershed, São Paulo, Brazil. **Freshwater Reviews**, Washington, 6(2):75-91, 2014.
- VASCONCELOS, R. F. B. et al. Qualidade física de um Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18(4):381-386, 2014.