

Relações entre a condutividade hidráulica de solo saturado e atributos físicos de uma microbacia hidrográfica

Dalbiano, L.¹; Reichert, J.M.¹; Rodrigues, M.F.¹; Wink, C.¹; Reinert, D.J.¹

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, CEP 97105-900, e-mail: agro.dalbiano@gmail.com (apresentador), reichert@smail.ufsm.br, miriamrodrigues@hotmail.com, beeundflowers@hotmail.com, reinert@ccr.ufsm.br

Introdução

A dinâmica da água no solo está diretamente relacionada com o desenvolvimento e produtividade das culturas, sendo seu conhecimento de fundamental importância para qualquer tomada de decisão sobre a exploração agrícola dos solos. Seu efeito é notável também em processos de erosão e transporte de sedimentos para os cursos d'água.

A condutividade hidráulica do solo é máxima quando este está saturado, sendo chamada de condutividade hidráulica de solo saturado (k_{sat}). Conceitualmente, Libardi (2000) definiu k_{sat} como sendo a facilidade com que um fluido (água) é transportado através de um meio poroso (solo). Segundo Klute (1965), a k_{sat} pode fornecer informações indiretas sobre a estrutura e estabilidade estrutural de agregados do solo, pois é influenciada por atributos físicos do solo que controlam a proporção entre as fases sólida, líquida e gasosa do solo. O processo de infiltração da água é dependente da capacidade do solo em transportá-la para camadas mais profundas quando saturado, podendo ser perdida na forma de enxurrada quando a quantidade de água que chega à superfície é maior que a capacidade de infiltração. Assim, a condutividade hidráulica de solo saturado tem relação direta com a suscetibilidade do solo ao processo de erosão hídrica.

A determinação da condutividade hidráulica de solo saturado é demorada e trabalhosa quando realizada a campo, e um tanto imprecisa em laboratório. Todavia, sua caracterização é requerida em modelos de simulação de fluxos de água e transporte de sedimentos no solo, bem como usada em várias estratégias de manejo de água no solo. A estimativa da condutividade hidráulica de solo saturado por meio de equações de regressão, que levam em conta atributos físicos do solo de fácil determinação e maior rapidez, pode ser uma alternativa viável, rápida e econômica. Entre os atributos físicos do solo que possuem relação com a condutividade hidráulica do solo saturado encontram-se a densidade do solo, densidade de partículas, porosidade, granulometria, grau de flocculação, estabilidade de agregados e a matéria orgânica.

Este trabalho teve por objetivo determinar a condutividade hidráulica de solo saturado de uma microbacia hidrográfica e elaborar equações de regressão para sua estimativa baseado em atributos físicos do solo de fácil determinação.

Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida na microbacia Cândido Brum, no município de Arvorezinha-RS, onde predominam os Argissolos Bruno-Acinzentados e a associação de Cambissolo Háplico com Neossolo Litólico (EMBRAPA, 1999). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. A exploração agrícola na área é caracterizada pela ampla utilização da cultura do fumo, sendo considerada uma das mais rentáveis para pequenas propriedades agrícolas.

Para a caracterização física do solo foram coletadas amostras com estrutura deformada e indeformada na camada 0-4 cm, em uma malha de 69 pontos espalhados por toda a área da microbacia (119 ha).

As amostras com estrutura indeformada, coletadas em seis repetições por ponto de coleta com o auxílio de anéis metálicos (4 cm de altura e 5,7 cm de diâmetro interno), foram destinadas às determinações de condutividade hidráulica de solo saturado com permeâmetro de carga decrescente (HARTGE & HORN, 1992), porosidade total, macro e microporosidade pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997) e densidade do solo (BLAKE & HARTGE, 1986).

Nas amostras deformadas determinou-se a estabilidade de agregados da classe 1-2 mm (KEMPER, 1965), teor de matéria orgânica (TEDESCO et al., 1995), cascalho (EMBRAPA, 1997) e granulometria pelo método da pipeta (DAY, 1965), determinando-se as frações areia total, areia grossa, areia fina, silte, argila total e argila natural, e calculando-se o grau de floculação da argila.

Os dados foram submetidos à análise estatística, onde primeiramente se fez análise de correlação simples entre a condutividade hidráulica de solo saturado e as demais variáveis físicas independentes. Após a observação e seleção dos parâmetros mais significativos, realizou-se análise de regressão múltipla com o procedimento *stepwise* (opção *forward*) (SAS, 1996), o qual parte da variável independente que mais se correlaciona com a variável dependente, para no passo seguinte, adicionar outra variável que apresentar maior correlação parcial e, posteriormente, testar pelo teste F. Quando o valor do F calculado ultrapassar 0,5, o procedimento de inserção de variáveis é encerrado.

Resultados e discussão

A estatística descritiva das variáveis consideradas na elaboração dos modelos é apresentada na Tabela 1. Observa-se que a condutividade hidráulica possui alto coeficiente de variação, sendo recomendada por Mesquita et al. (2002) a sua utilização na forma de função densidade de probabilidade lognormal, enquanto que os demais possuem distribuição normal.

Os coeficientes de correlação linear (Tabela 2) indicam que os atributos do solo que têm relação significativa com a condutividade hidráulica são matéria orgânica, cascalho, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade. Destes, a densidade do solo e a microporosidade possuem relação negativa com a condutividade hidráulica, ou seja, quando os seus valores aumentam ocorre um decréscimo na condutividade hidráulica.

Tabela 1. Número de pontos (N), média (X), desvio padrão (s), coeficiente de variação (CV) e valores mínimo e máximo das características físicas do solo consideradas no estudo.

Variáveis	N	X	s	CV (%)	Mínimo	Máximo
Estabilidade de agregados, %	69	83,64	13,74	16,43	39,40	98,30
Matéria orgânica, %	69	5,18	2,84	5,48	2,00	16,80
Cascalho, %	69	18,96	12,36	65,19	0,00	56,70
Areia total, %	69	26,48	8,31	31,38	14,80	63,80
Areia grossa, %	69	11,09	5,71	51,48	1,10	29,80
Areia fina, %	69	15,40	6,77	43,96	6,50	35,40
Silte, %	69	45,37	8,25	18,18	24,30	66,60
Argila, %	69	28,16	8,63	30,64	11,80	51,10
Grau de floculação, %	47	62,72	12,12	19,32	28,30	85,30
Densidade do solo, Mg m ⁻³	68	1,03	0,14	13,59	0,60	1,30
Porosidade total, %	68	58,38	4,79	8,20	47,10	71,40
Macroporosidade, %	68	19,31	6,49	33,61	3,50	32,40
Microporosidade, %	68	39,07	5,08	13,00	30,00	54,70
Condutividade hidráulica, mm h ⁻¹	68	286,60	160,25	55,91	41,00	612,00

Tabela 2. Coeficientes de correlação linear (r) entre as variáveis e a condutividade hidráulica de solo saturado.

Variáveis	Condutividade Hidráulica
Estabilidade de agregados, %	0,01 ^{ns}
Matéria orgânica, %	0,32 ^{**}
Cascalho, %	0,30 [*]
Areia total, %	-0,16 ^{ns}
Areia grossa, %	0,00 ^{ns}
Areia fina, %	-0,21 ^{ns}
Silte, %	-0,06 ^{ns}
Argila, %	0,10 ^{ns}
Grau de floculação, %	-0,23 ^{ns}
Densidade do solo, Mg m ⁻³	-0,63 ^{**}
Porosidade total, %	0,51 ^{**}
Macroporosidade, %	0,74 ^{**}
Microporosidade, %	-0,46 ^{**}

^{ns} Não significativo.

* Significativo a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

As equações obtidas a partir da análise de regressão linear com inserção de variáveis pelo procedimento *stepwise* indicam que a macroporosidade é o atributo do solo que melhor estima a condutividade hidráulica (Tabela 3). A segunda variável inserida no modelo foi a matéria orgânica. Esta apresentou maior correlação parcial com o modelo previamente definido no passo 1, elevando o valor de R^2 ajustado do modelo de 0,56 para 0,62. As outras variáveis inseridas no modelo foram, em seqüência, cascalho, porosidade total e densidade do solo. A microporosidade não foi inserida, caso contrário, o valor de F calculado ficaria acima de 0,5. A partir da inserção da variável cascalho no modelo de regressão linear (3º passo), houve pouco acréscimo no R^2 ajustado e ainda elevou o valor da probabilidade comparada com o F calculado (Prob>F). Portanto, este passo torna-se desnecessário, devendo-se optar pelo modelo 2, que utiliza as variáveis macroporosidade e matéria orgânica.

A capacidade preditiva das equações também pode ser aferida visualmente pela relação 1:1 dos valores estimados com os dados observados (Figura 1). Observa-se uma melhoria na estimativa dos valores de condutividade hidráulica da primeira para a segunda equação, mas pouco é acrescentado para a terceira. Os três modelos apresentam superestimação em baixos valores de condutividade hidráulica de solo saturado.

Tabela 3. Equações de regressão linear múltipla com inserção de variáveis com procedimento *stepwise* para estimativa da condutividade hidráulica de solo saturado (ksat) com valores de F calculado menor que 0,5.

Equações	R^2 modelo	Prob > F
1. $K_{sat} = -68,36 + 18,38 \cdot mac$	0,56	<,0001
2. $K_{sat} = -127,57 - 14,09 \cdot mo + 17,71 \cdot mac$	0,62	0,002
3. $K_{sat} = -138,20 + 14,09 \cdot mo + 1,23 \cdot casc + 17,03 \cdot mac$	0,63	0,236
4. $K_{sat} = 26,88 + 16,32 \cdot mo + 1,25 \cdot casc - 3,54 \cdot pt + 18,57 \cdot mac$	0,63	0,344
5. $K_{sat} = 411,44 + 13,49 \cdot mo + 0,92 \cdot casc - 184,53 \cdot ds - 6,12 \cdot pt + 17,40 \cdot mac$	0,64	0,308

mac=macroporos; mo=matéria orgânica; casc=cascalho; pt=porosidade total; ds=densidade do solo.

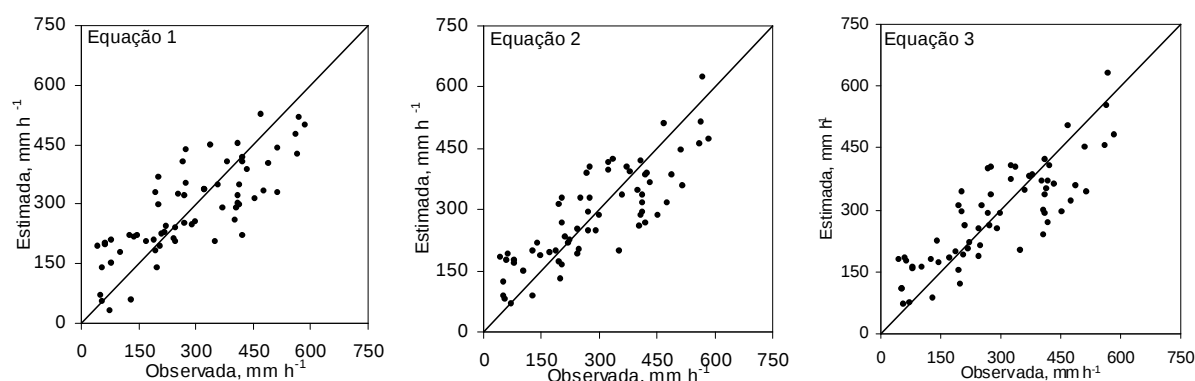


Figura 1. Dados medidos e estimados de condutividade hidráulica de solo saturado (mm h^{-1}) pelas equações de regressão 1, 2 e 3.

Conclusões

As variáveis físicas do solo que se correlacionaram positivamente com a condutividade hidráulica de solo saturado foram macroporosidade, matéria orgânica, cascalho e porosidade total, enquanto que a densidade e a microporosidade tiveram relação negativa.

O melhor modelo de regressão para a estimativa da condutividade hidráulica de solo saturado foi composto pelas variáveis macroporosidade e matéria orgânica, tendo R^2 ajustado para o modelo de 0,62. A estimativa pode ser melhorada com a inserção de outras variáveis, porém, a equação torna-se sujeita a erros e complexa.

Literatura Citada

- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. Cap.13, p.363-375.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- HARTGE, K.H.; HORN, R. **Die physikalische Untersuchung von Böden**. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1992. 177p.
- KEMPER, W.D. **Aggregate stability**. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis. PART 1. Madison, Wisc. ASA., 1965. p.511-519.
- KLUTE, A. Laboratory measurement hydraulic conductivity of saturated soil. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis I. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap.13, p.210-221.
- LIBARDI, L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba: ESALQ-USP, 2000. 509p.
- MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O.; CORRENTE, J.E. More adequate probability distributions to represent the saturated soil hydraulic conductivity. **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p.789-793, out./dez, 2002.
- SAS Institute. **SAS User's guide**. 5.ed. Cary, N.C., 1996. 956p.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).