

EFEITOS DA IRRIGAÇÃO COM EFLUENTES DE ESGOTO DOMÉSTICO NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO

R. A. B. GONÇALVES¹, M.V. FOLEGATTI², T. V. GLOAGUEN³, P. L. LIBARDI⁴, C. R. FAGANELLO⁵, C. R. MONTES⁶, C. A. SURITA⁷, A.J.MELFI⁸

RESUMO: As preocupações relacionadas à disposição de efluentes no solo dizem respeito às questões de sustentabilidade em longo prazo, incluindo contaminações e alterações de propriedades químicas e físicas do solo, dentre elas a condutividade hidráulica. Sendo assim, objetivou-se neste trabalho determinar a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) de um Latossolo do município de Lins, SP, irrigado com efluente de esgoto doméstico (parcela Efluente) e com água (parcela Água) durante 24 meses, comparando com o solo em condições naturais (parcela Testemunha). Determinou-se K_{sat} em laboratório em amostras de solo não deformadas, através do método do permeâmetro de carga decrescente em 8 profundidades. Os resultados mostram diminuição nos valores da condutividade hidráulica do solo em ambas as parcelas irrigadas, com água e com efluente, em relação à parcela tomada como referência, mostrando que o sódio é o principal responsável pelas modificações das propriedades hidráulicas do solo.

PALAVRAS CHAVES: reuso de efluentes na agricultura, condutividade hidráulica.

ABSTRACT: The concerns about the disposal of effluent in soil are related to long-term sustainability questions, including contaminations and alterations of chemical and physical properties of the ground, such as hydraulic conductivity. In this context, the aim of this work was to determine the saturated hydraulic conductivity of a Oxisol of the city of Lins, SP, irrigated with domestic secondary treated wastewater (treatment Effluent) and with sodic water (treatment Water) during 24 months, comparing with the natural conditions in the original soil. The K_{sat} values were determined in laboratory, in core soil samples, with the method of the decreasing flow permeameter in 8 depths. The results present decrease of the

¹ Doutoranda em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural – Esalq/USP, Avenida da Agronomia, s/n, Piracicaba - SP. Fone: (0xx19) 3429-4217 Ramal 265. e-mail: bruschi@esalq.usp.br

² Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Rural – Esalq/USP

³ Doutorando do Instituto de Geociências, USP.

⁴ Prof. do Departamento de Engenharia Rural – Esalq/ USP

⁵ Doutoranda em Ecologia de Agroecossistema da Esalq/USP

⁶ Profa. Dra. do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas – Esalq/ USP

⁷ Pós doutoranda do Departamento de Solos – Esalq/USP

⁸ Prof. Dr. do Departamento de Solos – Esalq/USP

hydraulic conductivity values in both the soils irrigated with sodic water and effluent, when compared to the unirrigated soil. It suggests that sodium is mainly responsible of the disturbances of the soil hydraulic properties.

KEY WORDS: wastewater reuse in agriculture, hydraulic conductivity

INTRODUÇÃO: Entre as propriedades que influenciam a condutividade hidráulica, estão a textura, a densidade, a estabilidade estrutural, a composição da solução do solo, o complexo de troca iônico, a expansibilidade, a atividade microbiana e a possível presença de ar que possa bloquear a passagem do fluido (HILLEL, 1970). Estas propriedades hidráulicas do solo, relacionadas ao meio poroso, são susceptíveis de serem modificadas durante a aplicação de efluentes, notadamente em solos tropicais, uma vez que os efeitos do sódio (Na^+) em solo ácido de baixa CTC (capacidade de troca de cátions) parecem ser mais acentuados (Martin et al., 1964). Os efeitos da aplicação de efluentes sobre a condutividade hidráulica não saturada, $K(\theta)$ e saturada, K_{sat} do solo ainda não estão claramente entendidos, mas é claro que a mudança do sistema poroso durante a irrigação é o fator preponderante das perturbações na taxa de infiltração, na condutividade hidráulica e na hidrodinâmica de uma maneira geral (MAGESAN et al. 1999; HALLIWELL; BARLOW; NASH, 2001). Mathan (1994) relatou o aumento na condutividade hidráulica no solo após aplicação de efluente de esgotos domésticos; no entanto, a maioria dos outros estudos tem mostrado decréscimo na condutividade (THOMAS; SCWATZ; BENEDIXEN, 1966; LANCE; RICE; GILBERT, 1980; CLANTON; SLACK, 1987; COOK; KELLIHER; McMAHON, 1994; BALKS; McLAY; HARFOOT, 1997). O decréscimo na condutividade hidráulica do solo pode resultar em alagamentos e escoamento superficial. Superfícies alagadas aumentam o fluxo preferencial de contaminantes através do solo, e o aumento no runoff pode provocar erosão no solo e contaminação das águas de superfície (VINTEN; MINELGRIN; YARON, 1983).

METODOLOGIA: Os trabalhos de campo foram realizados no município de Lins, SP (49°50'W e 22°21'S). O clima da região é caracterizado como mesotérmico de inverno seco, segundo a classificação de Koppen. A temperatura média varia entre 18°C e 22°C e a precipitação anual entre 1100 e 1300 mm. A área experimental está situada próxima a um sistema de lagoas de estabilização operado pela Sociedade de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). A totalidade do esgoto gerado pelo município, que possui de cerca de 67.000 habitantes, é tratado por esta Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que é

composta por 6 lagoas. O solo da área é classificado como latossolo vermelho distrófico típico. Na tabela 1, estão apresentadas as porcentagens dos teores de areia, silte e argila, nas oito camadas estudadas, onde se observa o aumento de argila com a profundidade.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica do solo em estudo

Prof. (m)	Areia grossa	Areia fina	Areia muito fina	Areia total	Silte	Argila
	%					
0,125	2,24	47,38	18,87	68,27	19,04	12,70
0,375	2,17	50,34	23,70	78,21	9,07	14,73
0,625	1,88	45,28	22,10	69,24	10,18	20,8
0,875	1,45	45,15	23,32	69,92	9,53	20,56
1,125	1,38	44,45	23,49	69,32	10,28	20,41
1,375	1,87	45,89	22,34	70,10	9,95	19,96
1,875	1,95	45,58	22,87	70,40	9,99	19,82

Para avaliar o efeito da aplicação de efluente sobre as propriedades físicas e hídricas do solo, três parcelas foram selecionadas (parcela Testemunha, parcela Efluente e parcela Água). A primeira, apenas com grama, não sofreu quaisquer tipos de cultivo e irrigação. Suas propriedades físicas e hídricas foram consideradas como referência para comparação com as outras parcelas. As outras duas áreas foram cultivadas com milho e girassol alternadamente durante 2 anos (4 ciclos), sendo uma delas irrigada com efluente (parcela Efluente) e a outra com água de abastecimento (parcela Água). Para determinar a condutividade hidráulica saturada do solo em laboratório, 72 amostras com estrutura preservada foram coletadas em cilindros de 7 cm de diâmetro e 7 cm de altura. As coletas foram feitas nas três parcelas utilizando-se o trado tipo Uhland, sendo 3 repetições em cada profundidade. Utilizou-se o permeâmetro de carga decrescente (Figura 1) para as análises. Este método é mais adequado para solos com K_{sat} baixo ($K_{sat} < 7,2 \cdot 10^{-3}$ m/h). O procedimento de saturação da amostra foi realizado de baixo para cima com o cilindro já no permeâmetro, com extrema cautela, tendo a amostra sido seca ao ar durante 15 dias. Após a saturação, conectou-se um funil de haste longa transparente ao cilindro, onde foram marcados o potencial total H_1 e H_2 . Foi então medido o potencial total (diminuição da carga) de H_1 a H_2 entre os tempos t_1 e t_2 . Deduzindo a fórmula da condutividade hidráulica do solo saturado por este método (equação 1), no qual a carga hidráulica no topo da coluna decresce, tem-se que (LIBARDI, 2002):

$$K_{sat} = \frac{aL}{A(\Delta t)} \ln \left(\frac{H_1}{H_2} \right) \quad (1)$$

$\Delta t = t_2 - t_1$ = intervalo de tempo para a diferença de potencial total entre H_1 para H_2 ;

A = área da secção transversal da coluna de solo;

L = comprimento da amostra de solo;

a = área da secção transversal do tubo de vidro (haste do funil) onde se mede H .

Para comparação dos resultados de K_{sat} entre as parcelas, procedeu-se ao teste de médias t , ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se para isto o programa STATISTICA.

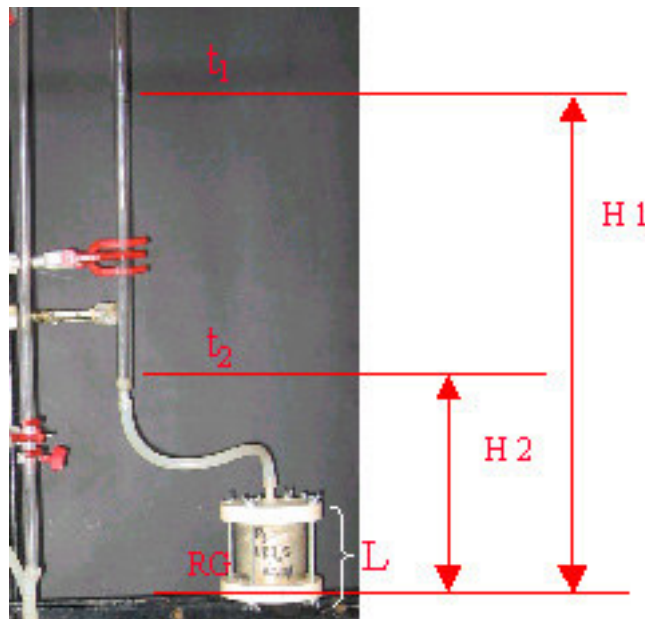


Figura 2 – Experimento de K_{sat} em laboratório utilizando-se o permeâmetro de carga decrescente (LIBARDI, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÕES: Na tabela 2, estão mostrados os valores médios e os desvios padrões de K_{sat} obtidos nas três parcelas e nas 8 profundidades. Primeiramente, pode-se observar uma grande variabilidade nos valores de K_{sat} , o que é representado pelo alto coeficiente de variação (CV). Isso é uma característica do solo que já foi identificado por outros pesquisadores. Em experimento de K_{sat} utilizando permeâmetro de carga constante feito por Magesan et al. (1999), observou-se que o aumento do número de repetições não diminui o CV. Por exemplo, obtiveram um CV de 41% com 3 repetições, mas um CV de até 115% com 9 repetições. Os autores explicam que esses valores estão dentro da faixa de variabilidade aceitável para esse parâmetro (WARRICK; NIELSEN, 1980). Bagarello et al. (2005) também observaram coeficientes de variação muito elevados para K_{sat} , de 483% num solo argiloso (11 repetições) e de 98% num solo arenoso (9 repetições).

Tabela 2 – Valores médios e coeficiente de variação da condutividade hidráulica saturada nas parcelas Testemunha, Água e Efluente para as 8 profundidades. Valores seguidos da mesma letra numa linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade

Prof. (m)	Testemunha		Água		Efluente	
	Média (m.h ⁻¹)	Coeficiente de variação (%)	Média (m.h ⁻¹)	Coeficiente de variação (%)	Média (m.h ⁻¹)	Coeficiente de variação (%)
0,125	0,010 a	179	9,55.10 ⁻⁴ b	36	59, 2.10 ⁻⁴ a	107
0,375	0,036 a	67	0,025 a	56	0,017 a	54
0,625	0,055 a	36	0,028 a	33	0,018 b	44
0,875	0,064 a	58	0,026 a	118	0,033 a	85
1,125	0,043 a	69	0,024 a	31	0,056 a	47
1,375	0,052 a	36	0,036 a	24	0,042 a	31
1,625	0,037 a	69	0,029 a	37	0,036 a	38
1,875	0,050 a	59	0,021 a	62	0,020 b	9

Observa-se que para todas as profundidades, os valores de K_{sat} nas parcelas Água e Efluente são inferiores aos da parcela Testemunha. Entretanto, devido à alta variabilidade do K_{sat} , as diferenças não foram significativas em quase todo o perfil de solo. O maior decréscimo de K_{sat} foi identificado a 0,125 m, com uma variação significativa de 10 vezes entre as parcelas Água e Testemunha. Outros decréscimos significativos foram encontrados na parcela Efluente em relação a parcela Testemunha, a 0,625m (decréscimo de -67%) e a 1,875 m (-59%). As variações observadas foram maiores que as encontradas por Jnad et al. (2001), num estudo sobre a disposição de efluente de fossa séptica em pastagem. Os autores relatam alteração moderada de K_{sat} , após aplicação de uma lâmina de 4000 mm, com valores sempre superiores a 50% do valor inicial de K_{sat} . No presente estudo, após uma lâmina de apenas 1800 mm, 7 dos 16 valores de K_{sat} nas parcelas Água e Efluente foram inferiores a 50% do valor na parcela Testemunha. Uma característica comum às três parcelas foi o aumento de K_{sat} com a profundidade. Na parcela Testemunha, o valor máximo de K_{sat} foi identificado a 0,875 m. Na parcela Efluente, houve aumento até 1,125m. Na parcela Água, houve pouca variação de K_{sat} a partir da segunda profundidade. Na Figura 2, estão apresentadas as diferenças (ΔK_{sat}) entre os valores de K_{sat} da parcela Testemunha e as outras (Água e Efluente). É nítido o aumento

da diferenças com a profundidade, até o meio do perfil (1,125 para ΔK_{sat} Água-Testemunha e 0,875 para ΔK_{sat} Efluente-Testemunha), mostrando a maior alteração do K_{sat} nos horizontes sub-superficiais (até 1m).

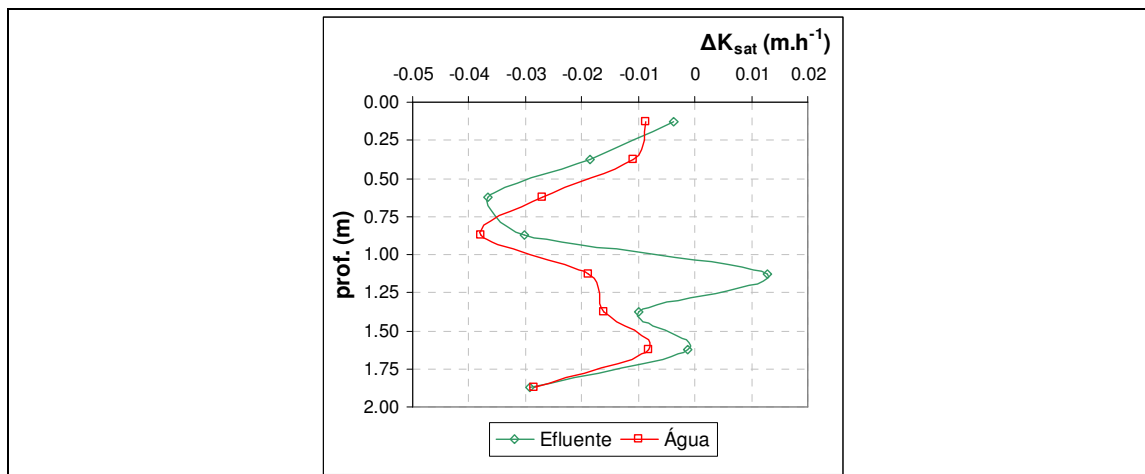


Figura 2 – Variações em $m.h^{-1}$ entre K_{sat} nas parcelas Água e Efluente em relação a K_{sat} da Testemunha, em função da profundidade.

CONCLUSÕES:

- Identificou-se um decréscimo nos valores de K_{sat} nas parcelas irrigadas em relação à Testemunha ao longo de todo o perfil de solo, não sendo, porém, confirmado estatisticamente;
- As alterações em K_{sat} aumentaram com a profundidade, no primeiro metro de solo.

REFERÊNCIAS:

BALKS, M.R.; McLAY, C.D.A.; HARFOOT, C.G. Determination of the progression in soil microbial response, and changes in soil permeability, following application of meat processing effluent to soil. **Applied Soil Ecology**, 6, 109-16, 1997.

BAGARELLO, V.; IOVINO, M.; PALAZZOLO, E.; PANNO, M.; REYNOLDS, W.D. Field and laboratory approaches for determining sodicity effects on saturated soil hydraulic conductivity. **Geoderma**, Amsterdam, 2005. In press.

BOND, W.J. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p.543-555, 1998.

CLANTON, C. J.; SLACK, D.C. Hydraulic properties of soils as affected by surface application of wastewater. **Transactions of the ASAE** 30(3), 683-7, 1987.

COOK, F.J.; KELLIHER, F.M.; McMAHON, S.D. Changes in infiltration during wastewater irrigation of a highly permeable soil. **Journal of Environmental Quality**, 23, 476-82, 1994.

HALLIWELL, D.J.; BARLOW, K.M.; NASH, D.M. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. **Aust. J. Soil Res.**, 39, p.1259-1267, 2001.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231 p.

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface drip dispersal of residential effluent: II. Soil hydraulic characteristics. **Transactions of the ASAE**, v.44 (5): 1159-1165, 2001.

LANCE, J.C.; RICE, R.C.; GILBERT, R.G. Renovation of wastewater by soil columns flooded with primary effluent. **Journal of Water Pollution Control Federation**, 52, 381-8, 1980.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: edição do autor, 2002. 503 p.

MAGESAN, G.N. ; WILLIAMSON, J.C.; SPARLING, G.P.; SCHIPPER, L.A., LLOYD-JONES, A.R. Hydraulic conductivity in soils irrigated with wastewaters of differing strengths: Field and laboratory studies. **Australian Journal of Soil Research**, 37, 391-402, 1999.

MARTIN, J.P.; RICHARDS, S.J.; PRATT, P.F. Relationship of exchangeable Na percentage at different soil pH levels to hydraulic conductivity. Soil Science Society of America. **Proceedings**, v.28, p.620-622, 1964.

MATHAN, K.K. Studies on the influence of long-term municipal sewage-effluent irrigation on soil physical properties. **Bioresource Technology**, v.48, 275-6, 1994.

THOMAS, R.E.; SCWATZ, W.A.; BENEDIXEN, T.W. Soil chemical changes and infiltration rate reduction under sewerage spreading. [Soil Science Society of America. Proceedings](#) 30, 641-646, 1966.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VINTEN, A.J.A.; MINELGRIN, U.; YARON, B. [The effect of suspended solids in wastewater on soil hydraulic conductivity: II. Vertical distribution of suspended solids.](#) **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, 408-12, 1983.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. **Spatial variability of soil physical properties in the field.** In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.