
RECARGA POTENCIAL COM REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Célia Alves Surita¹; Célia Regina Montes^{2,1}; Kátia Maria Cezarino^{3,1}; Adolpho José Melfi^{4,1},

Resumo

O objetivo deste trabalho é caracterizar a dinâmica da água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana de açúcar. O estudo foi conduzido em duas parcelas, uma sem irrigação e outra irrigada com efluentes de estação de tratamento de esgoto doméstico, para investigar a possível contribuição da irrigação para a recarga do aquífero. O método utilizado combina dados das curvas de retenção da água no solo, potencial total, e condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado.

Os resultados indicam que a irrigação com efluentes contribui para aumentar o teor de umidade do solo, diminuindo o potencial total da água no solo em todas as profundidades observadas, de 3 a 5 vezes. Em 1,0 m, por exemplo, o potencial total diminui de -10 mca para -2 mca, e a condutividade hidráulica do solo não saturado aumenta com o aumento da umidade, de 10^{-14} ms^{-1} a 10^{-12} ms^{-1} .

Abstract

The main of this work is to characterize the dynamics of water in an Oxisol (Latossolo Vermelho) cultivated with sugar cane. The study was performed in two parcels, one without irrigation and other irrigated with treated wastewater for investigate the contribution of the irrigation for groundwater recharge. The method combines soil characteristic curves, total soil water potential, unsaturated and saturated hydraulic conductivity of the soil.

The results indicate that irrigation with effluent contributes to increase the soil moisture, and decreasing the total potential, about 3 or 5 times. At 1,0 m of depth, for example, the total potential decrease approximately of -10 mca for -2 mca, and the unsaturated hydraulic conductivity increase with the increase of soil humidity of 10^{-14} ms^{-1} to 10^{-12} ms^{-1} .

Palavras-chave: reuso, efluentes, recarga

¹ Núcleo de Pesquisas em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL)-USP. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba. (19) 3429-4469, e-mail: cesurita@yahoo.com.br

² Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)-USP. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba. (19) 3429-4469, e-mail: crmlauar@usp.br

³ Gestão Ambiental - USP. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba. (19) 3429-4469, e-mail: cezarino@esalq.usp.br

⁴ Escola de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)-USP. Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba. (19) 3429-4469, e-mail: ajmelfi@usp.br

1- Introdução

A disposição, de forma adequada, de EETE em solos agrícolas permite a redução de lançamento de poluentes em corpos de água superficiais, reduzindo custos de tratamento de águas para abastecimento, diminuição da poluição de águas superficiais e doenças por veiculação hídrica, contribuindo para a conservação das águas de boa qualidade para usos prioritários, além de proporcionar a adição de nutrientes aos solos sob cultivos.

As águas residuárias quando aplicadas ao solo podem ser somadas à componente de infiltração das águas das chuvas aumentando o conteúdo de água no solo, podendo, dessa forma, contribuir para aumentar a recarga dos aquíferos, e, por consequência, para a descarga de base dos rios, parâmetro importante para o gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos e avaliação de vulnerabilidade de contaminações. Mas, para que o reuso de águas residuárias seja sustentável é necessário preservar as funções do solo e proteger a qualidade das águas subterrâneas.

O uso de efluentes de esgoto tratado em solos agrícolas é uma prática antiga adotada por vários países como Austrália, Israel, Estados Unidos, México, Índia [1-6]. No Brasil, a prática do aproveitamento agrícola de EETE vem se tornando objeto de estudos, necessários para orientar a formulação de diretrizes sobre o reuso.

O conhecimento necessário para a utilização de efluentes em solos abrange a resposta de crescimento e de produção de determinadas culturas em relação à qualidade e à quantidade de água dos efluentes, considerando as características físico-hídricas do solo e as alterações que podem ocorrer depois da aplicação de efluentes, além da evolução da qualidade da solução do solo abaixo da zona da raiz, e ainda, o transporte de solutos para as águas subterrâneas.

Com relação à qualidade do solo, alguns trabalhos mostram decréscimo de condutividade hidráulica [7-9], que pode alterar a capacidade de percolação, e, portanto, a recarga dos aquíferos.

A recarga tem sido estimada por diferentes métodos, incluindo balanço de massa de cloretos [10], perfil de temperatura [11-12], monitoramento da variação do nível das águas subterrâneas [13], ou balanço hídrico [14].

2 – Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar a dinâmica da água em um Latossolo cultivado com cana de açúcar. Duas parcelas foram estudadas, uma sem qualquer tipo de irrigação e outra irrigada com EETE, visando investigar a possível contribuição da irrigação para aumento da umidade do meio e, portanto, a possibilidade de contribuição para a recarga do aquífero livre.

3 – Método e Materiais

3.1. O delineamento experimental

A área experimental para aplicação de EETE conta com aproximadamente 5600 m², dividida em cinco tratamentos (T1 a T5), com 4 repetições (Parcelas 1 a 4) (Figura 1), que correspondem às aplicações de diferentes lâminas de irrigação, e da utilização de 50% da dose de nitrogênio mineral necessária, em torno de 30 kg ha⁻¹ano⁻¹. As diferentes lâminas de irrigação vêm sendo utilizadas a fim de avaliar a capacidade do Latossolo Vermelho [15], em receber determinadas quantidades de efluentes acima de sua capacidade de campo, e não apresentar alteração em alguma de suas propriedades físico-hídricas ou químicas.

T1	SI-Parcela1 *	SI-Parcela2 *	SI-Parcela3 *	SI-Parcela4
T2	0e-100-Parcela1 *	0e-100-Parcela2	0e-100-Parcela3 *	0e-100-Parcela4 *
T3	0e-125-Parcela1 *	0e-125-Parcela2 *	0e-125-Parcela3	0e-125-Parcela4 *
T4	0e-150-Parcela1	0e-150-Parcela2 *	0e-150-Parcela3 *	0e-150-Parcela4 *
T5	0e-200-Parcela1 *	0e-200-Parcela2 *	0e-200-Parcela3 *	0e-200-Parcela4

Figura 1 – Croqui representativo do delineamento experimental para cultivo de cana de açúcar utilizando efluentes de sistema de tratamento de esgoto doméstico, com 05 tratamentos e quatro repetições: T1 - tratamento sem irrigação (SI), T2 - irrigação para suprir 100 % da capacidade de campo, T3 - irrigação com 25 % acima da capacidade de campo, T4 - irrigação com 50 % acima da capacidade de campo e, T5 - irrigação com 100 % acima da capacidade de campo. Símbolo * indica parcelas com equipamentos para monitoramento do potencial da água no solo

3.2 - O método para avaliação da dinâmica da água

O método empregado combina dados das curvas de retenção da água no solo, potencial matricial e gravitacional, e condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado. Para os estudos de fluxo que serão efetuados no final do ciclo da cultura, será utilizada a equação de Darcy-Buckingham, aplicável para um meio considerado homogêneo e isotrópico, com fluxos de umidade na direção vertical:

$$(1) \frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} (-K(\theta) \frac{\partial \Phi}{\partial z})$$

onde Φ é o potencial total da água no solo e $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica da zona não saturada do solo estimada pela equação de van Genuchten:

$$(2) K(\theta) = K_{sat} w^l \left[1 - (1 - w^m)^m \right]^2, \text{ onde}$$

$$(3) w = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, \quad \text{e}$$

$$(4) \theta = \theta_r + \frac{[\theta_s - \theta_r]}{[1 + |\alpha \phi|^n]^m}$$

sendo ϕ_m o potencial matricial da água no solo monitorada por tensiômetros;

θ_s e θ_r , as umidades na condição de saturação e residual, obtidas pelas curvas de retenção da água no solo;

m , n , e α são os parâmetros obtidos pelo ajuste dos pontos ao modelo de van Genuchten, pelo método dos mínimos quadrados;

K_{sat} é a condutividade hidráulica do solo saturado estimada utilizando permeâmetro de carga decrescente.

3.3 – Amostragem de solo, curvas de retenção e monitoramento de ϕ_m

Para a obtenção da curva de retenção, e estimativa da condutividade hidráulica do solo saturado, foram coletadas amostras indeformadas de solo em duas trincheiras com 2 metros de profundidade, na área da cana de açúcar e a montante desta área, para obtenção dos dados de referência. O solo foi coletado em triplicatas a cada 25 cm em 08 profundidades, utilizando anéis volumétricos embalados em papel alumínio, e protegidos contra choques mecânicos. Para o levantamento das curvas de retenção da água no solo, as amostras foram umedecidas até a condição de saturação, e em seguida foram submetidas a tensões de 1 kPa, 2 kPa, 4 kPa, 10 kPa, 30 kPa, 40 kPa, 100 kPa, 500 kPa e 1500 kPa, conforme descrição em Libardi [16]. As curvas características foram levantadas utilizando o programa Table Curve (v. 2.0, 1999). Para a estimativa da condutividade hidráulica do solo saturado, as amostras de solo foram submetidas à saturação utilizando permeâmetro de carga decrescente [16].

O potencial matricial (ϕ_m) foi monitorado a cada dois dias, em tensiômetros com cápsula porosa de cerâmica com altura média de 6 cm e diâmetro médio de 0,5'', instalados em camadas de 0,20 m, desde a superfície até 1,0 m de profundidade, e entre 1,9 m e 2,1 m, de profundidades, nas parcelas indicadas na figura 1. As leituras foram obtidas com tensímetro digital (TRI Instruments), com precisão <3%.

Neste trabalho serão consideradas as medidas efetuadas entre 15/07/05 até 30/11/05, em apenas dois tratamentos: sem irrigação (T1) e com irrigação com efluentes de EETE para suprir a capacidade de campo (T2).

4 – Resultados e Discussões

A variação do potencial total da água no solo na área sem irrigação (T1) e com irrigação (T2) pode ser visualizada nos gráficos da Figura 2. De modo geral, a força de retenção da água no solo é mais elevada na área sem irrigação. Neste local, Φ_m chega a -10 mca (≈ 100 kPa), entre 0,3 m e 0,5 m de profundidades, diminuindo para -2mca durante o período de ocorrência de chuvas (Figura 3). Entre 1,0 m e 2,0 m de profundidades o potencial aumenta, chegando a -12 mca. Com a

irrigação no tratamento (T2), a tensão da água no solo abaixo de 30 cm diminui. Os gráficos da figura 2 mostram que até 1,0 m de profundidade existe uma tendência de manutenção da umidade do meio, com Φ_m variando entre -2 mca e -4 mca. Com o aumento da profundidade, em torno de 2,0 m, o teor de umidade diminui e a tensão aumenta, variando entre -4 mca e -6 mca.

Os gráficos da figura 4 mostram a variação da condutividade hidráulica do solo não saturado ($K(\theta)$) durante o período de monitoramento. Na área sem irrigação a condutividade é mais baixa, como seria esperado, devido às condições de menor teor de umidade. Entre 0,3 m e próximo de 0,9m de profundidades os valores de $K(\theta)$ são os mais baixos, variando entre 10^{-14} ms^{-1} a 10^{-16} ms^{-1} . Próximo de 2,0 m de profundidade a condutividade é da ordem de 10^{-12} ms^{-1} . Observa-se que com a irrigação a condutividade aumenta passando a 10^{-13} ms^{-1} em torno de 0,5 m de profundidade a 10^{-8} ms^{-1} , próximo de 1,0 m. E em torno de 2,0 m, $K(\theta)$ aumenta, variando entre 10^{-10} ms^{-1} e 10^{-11} ms^{-1} .

Estes dados mostram que existe maior dificuldade de movimentação de água nas camadas superiores, podendo estar relacionada com alterações da porosidade bem como outros fatores como processos de dispersão de argilas, que serão avaliadas no final do ciclo da cultura. Da mesma forma, os cálculos foram efetuados considerando a condutividade do solo saturado cuja amostragem foi efetuada em um local da área, devendo ser reavaliado no final do ciclo da cultura.

Os dados preliminares apresentados neste trabalho indicam que a irrigação altera a condição de umidade do solo mesmo em maiores profundidades, com evidentes diferenças de $K(\theta)$ estimada na área sem irrigação e na área com irrigação, sugerindo que o uso de efluentes pode contribuir para aumentar o fluxo de umidade e, portanto, a recarga indireta dos aquíferos.

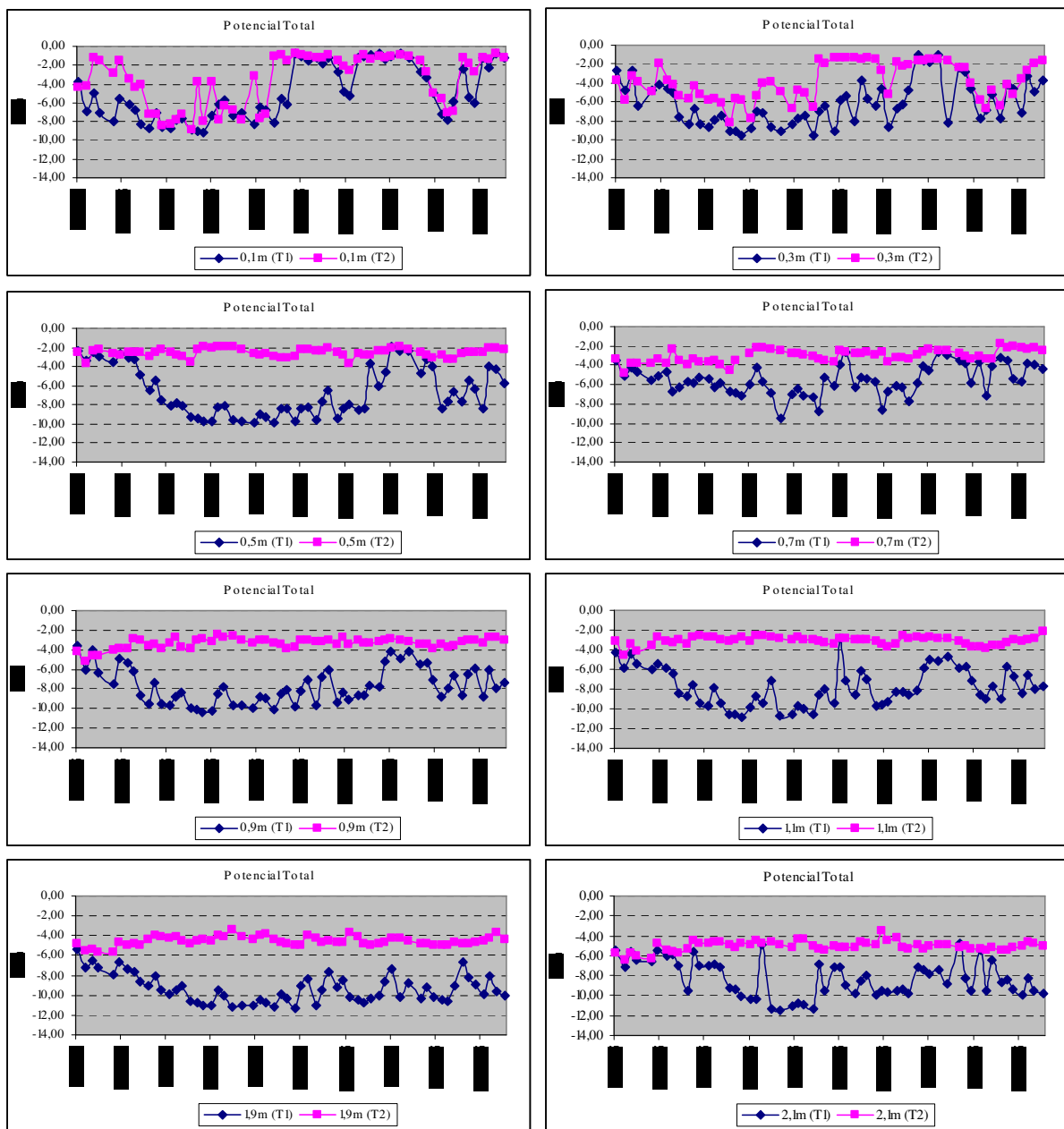


Figura 2 – Potencial total da água no solo em área com cultivo de cana de açúcar em dois tratamentos: T1 – sem irrigação e T2 com irrigação com efluentes para suprimento da umidade, em diferentes profundidades: 0,1m, 0,3 m, 0,5 m, 0,7 m, 0,9 m, 1,1m, 1,9 m, 2,1 m.

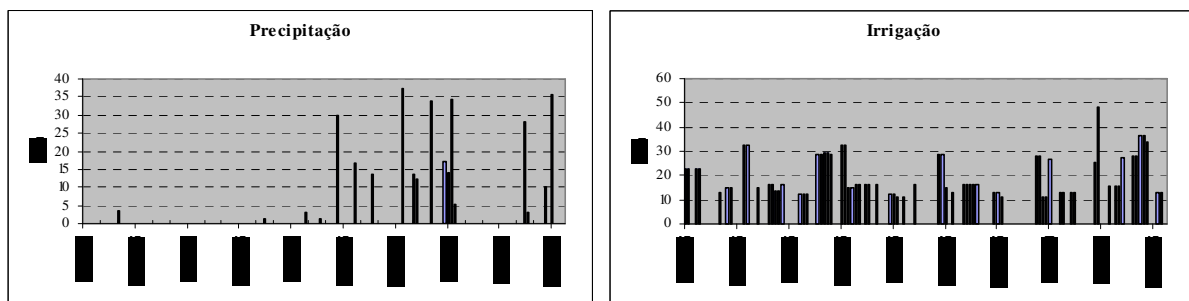


Figura 3 – Precipitação e irrigação (mm) ocorridas entre julho e novembro de 2005.

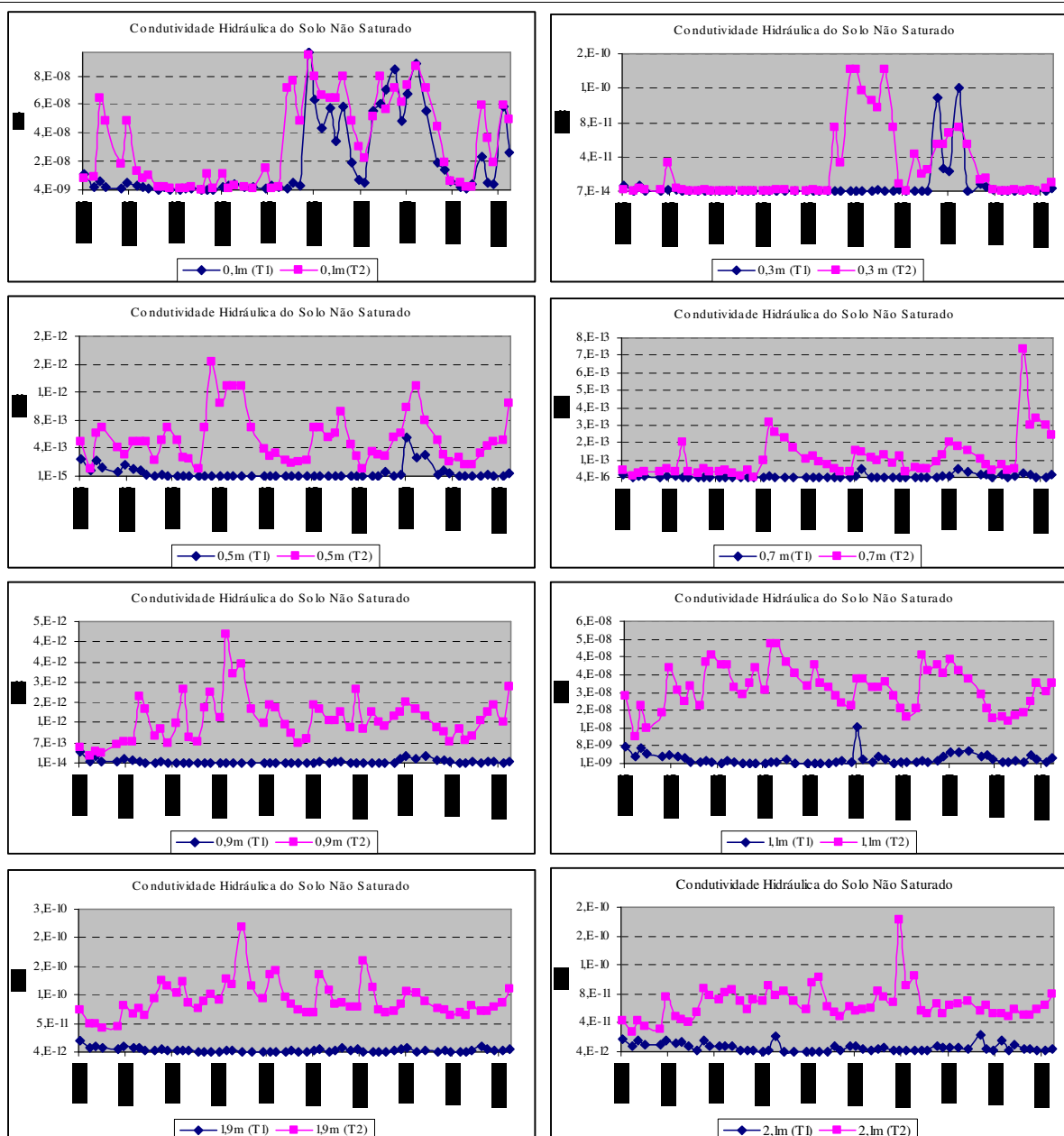


Figura 4 – Condutividade hidráulica do solo não saturado em área com cultivo de cana de açúcar em dois tratamentos: T1 – sem irrigação com efluentes e T2 com irrigação para suprimento da umidade, em diferentes profundidades: 0,1m, 0,3 m, 0,5 m, 0,7 m, 0,9 m, 1,1m, 1,9 m, 2,1 m.

4 – Referências Bibliográficas

- [1] Bower, H.; Idelovitch. Quality requirements for irrigation with sewage water. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Reston, USA, 1987, v.113, 516-535.
- [2] Feigin, A.; Ravina, I.; Shalevet, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin, Springer-Verlag, 1991, 224p.
- [3] Pescod, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization, Rome, 1992, 125 p.

-
- [4] Chakrabarti, C. Residual effects of long-term land application of domestic wastewater. *Environment International*, ISSN: 0160-4120, 1995, v. 21(3), 333-339.
- [5] Wang, Z.; Chang, A. C.; Wu, L.; Crowley, D. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. *Geoderma*, ISSN: 0016-7061, 2003, v.114, 261-278.
- [6] Friedel, J. K.; Langer, T.; Siebe, C.; Stahr, K. Effects of long-term waste irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central México. *Biology and Fertility Soils*, Berlin, ISSN: 0178-2762 , 2000, v. 31, 414-421.
- [7] Rice, R.C. Soil clogging during infiltration of secondary effluent. *Journal of Water Pollution Control Federation*, Washington, 46, 708-716, 1974.
- [8] Clanton, C. J.; Slack, D.C. Hydraulic properties of soils as affected by surface application of wastewater. *Transactions of American Society of Agricultural Engineering*, Madison, 1987, v. 30(3), 683-687.
- [9] Gloaguen, R. A. B. G. Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado nas propriedades físico-hídricas de um latossolo. Tese de Doutorado, ESALQ/USP, Piracicaba, 2005, 119 p.
- [10] Allison, G. B.; Hughes, M. W. The use of environmental chloride and tritium to estimate total recharge to na unconfined aquifer. *Journal of Soil Research*, Austrália, 1978, v.16, 181-195.
- [11] Taniguchi, M. Estimated recharge rates from groundwater temperatures in the Nara basin, Japan. *Applied Hydrogeology*, 1994, v. 4, 1-13.
- [12] Shan C.; Bodvarsson, G. An analytical solution for estimating percolation rate by fitting temperature profiles in the vadose zone. *Journal of Contaminant Hydrology*, ISSN: 0169-7722, 2004, v.68, 83-95.
- [13] Healy, R. W.; Cook, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 2002, v.10, 91-109.
- [14] Bekesi, G.; McConchie, J. Groundwater recharge modelling using the Monte Carlo thecnique, Manawatu region, New Zealand. *Journal of Hydrology*, ISSN: 0022-1694, 1999, v.224, 137-148.
- [15] Ibrahin, L. Características Físicas, Químicas, Mineralógicas e Morfológicas de uma Seqüência de Solos em Lins – SP. Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, Piracicaba, 2002, 86 p.
- [16] Libardi, P. L. Dinâmica da água no solo. Paulo Leonel Libardi. Piracicaba, 2000, 509 p.