

INFLUÊNCIA DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NA ALTURA DO LENÇOL FREÁTICO, ESPAÇAMENTO DE DRENOS E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

INFLUENCE OF THE HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN WATER TABLE HEIGHT, SPACING OF DRAINS AND MAIZE PRODUCTIVITY

Luiz Fernando Coutinho OLIVEIRA¹; Robson BONONO²; Daniel Fonseca de CARVALHO³; Fernando Cardoso CORTÊS⁴

RESUMO: Este trabalho foi desenvolvido com objetivo de se avaliar a influência da condutividade hidráulica (K_o) na altura do lençol freático (LF), espaçamento entre drenos (L) e na produtividade da cultura do milho. Para tal, determinou-se o valor de K_o em uma rede de drenagem instalada no campus da Universidade Federal de Goiás, com espaçamento entre drenos é de 30 m. Com auxílio do software DRENO, avaliou-se a oscilação do LF submetido a diferentes recargas e o espaçamento entre os drenos para os diferentes valores de K_o , permitindo a obtenção do índice de estresse ao excesso de água (SEW_{30}) e a produtividade relativa para a cultura do milho (PRm). Com os resultados obtidos para SEW_{30} , pode-se constatar que as áreas sobre a influência dos menores valores de K_o ficaram sujeitas ao excesso de água na zona do sistema radicular. A PRm decresceu com o rebaixamento do LF e para as condições de excesso de umidade na profundidade das raízes não houve comprometimento no rendimento da cultura. Os valores dos espaçamentos entre drenos calculados apresentaram uma variação percentual de -10,0 a 155,0 %, quando comparado com o espaçamento real dos drenos (30 m), sendo que o valor de L que mais se aproximou do real, foi aquele calculado para K_o de 1,01 mm.d⁻¹.

UNITERMOS: Drenagem, Lençol freático, Condutividade hidráulica

INTRODUÇÃO

A dificuldade de se prever o desempenho dos sistemas de drenagem é resultado da complexa interação entre os diversos fatores envolvidos, tais como as condições de clima, solo, planta e do próprio sistema (DUARTE et al., 1998). Dentre os parâmetros físico-hídricos do solo, a condutividade hidráulica do solo saturado é o mais importante no projeto e avaliação de sistemas de drenagem, estando presente em todos os modelos utilizados no dimensionamento desses sistemas. Além disso, é dependente da geometria do espaço, ou seja, da distribuição e forma dos poros, tortuosidade, superfície específica e porosidade.

Os solos de várzea têm sua formação afetada pela deposição de materiais carreados pelo processo erosivo das encostas adjacentes e cursos d'água e pelo

acúmulo de matéria orgânica, o que lhes confere uma grande variabilidade espacial em suas propriedades físico-hídricas (OLIVEIRA, 1999). O efeito desta variabilidade, no que se refere à quantificação da condutividade hidráulica do solo saturado, reflete no comportamento do lençol freático submetido a uma recarga e no espaçamento dos drenos.

Segundo Carlesso et al. (2001) os solos de várzeas são normalmente planos, apresentando baixa capacidade de infiltração de água e geralmente, excesso de umidade. O excesso de umidade por períodos prolongados resulta em um suprimento inadequado de oxigênio às raízes das plantas, sendo um fator limitante para o cultivo das várzeas com plantas anuais de sequeiro. De acordo com Costa e Cruciani (1998) os efeitos do excesso de água sobre o desenvolvimento das plantas tem recebido atenção especial, pois possibilitam uma

¹ Professor Adjunto, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimento da Universidade Federal de Goiás

² Professor Adjunto, Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí, GO

³ Professor Adjunto do Centro de Tecnologia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

⁴ Mestrando em Agronomia, Universidade de Brasília

Received: 12/06/02

Accept: 16/12/02

análise completa dos resultados obtidos com a utilização dos sistemas de drenagem sobre a produtividade das culturas.

De acordo com Bower (1974), a dificuldade na obtenção de parâmetros físico-hídricos representativos das condições existentes e a escassez de critérios de drenagem adequados constituem os elos mais fracos no dimensionamento correto de um sistema de drenagem. Segundo o autor, mesmo estando ciente a respeito da teoria do movimento de água em direção aos drenos, das equações disponíveis para o cálculo do espaçamento entre drenos, dos métodos de determinação da condutividade hidráulica e dos materiais e métodos de drenagem, o critério de drenagem constitui a principal variável na estimativa da intensidade ótima de drenagem, capaz de maximizar a diferença entre o retorno financeiro e os custos proporcionados pelo sistema de drenagem.

No projeto da rede de drenagem, outra variável de suma importância é a profundidade efetiva do sistema radicular. Em função da necessidade de melhor caracterizar os requerimentos de drenagem das culturas, normalmente o dimensionamento é realizado em função do número de dias de tolerância da cultura às condições de saturação do solo (BELTRÁN, 1986; PIZARRO, 1985; BENZ et al., 1978).

Segundo Rosa (1993) os estudos visando obter informações para a viabilização de cultivos de sequeiro em várzeas, geralmente revelam a potencialidade de obter produtividades elevadas. Por outro lado, o sucesso do estabelecimento de culturas de sequeiro em solos de várzeas, requer a manutenção do lençol freático em níveis adequados, de forma a eliminar o excesso de água no solo em período de alta precipitação e quando possível, permitir o suprimento hídrico às plantas via ascensão capilar nos períodos secos (CALHEIROS et al., 2000; FARIA; POSTIGLIONI, 1997).

Segundo Duarte (1997), em um futuro próximo, a exaustão das áreas altas agricultáveis no país venha pressionar a implantação de projetos de drenagem em áreas úmidas com maior extensão do que as ocupadas na atualidade, incluindo aquelas regiões onde ainda não se dispõe de experiência prática local em drenagem agrícola como, por exemplo, a região Centro-Oeste. Cruciani (1987) ressalta que a extrapolação de experiência prática e o uso de procedimentos empíricos no dimensionamento de sistemas de drenagem podem provocar grandes erros, sendo mais indicada a utilização de critérios racionais.

Atualmente, a aplicação de modelos computacionais permite a simulação da oscilação do lençol freático para longos períodos de tempo e diferentes

valores da condutividade hidráulica do solo saturado, em que correlacionado com a resposta da cultura ao excesso de água, torna-se possível avaliar os efeitos da drenagem na produtividade da cultura.

Em vista do exposto, neste trabalho objetivou-se avaliar a influência da condutividade hidráulica do solo saturado na altura do lençol freático, espaçamento entre drenos e na produtividade da cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a verificação da influência da condutividade hidráulica do solo saturado na altura do lençol freático, espaçamento entre drenos e na produtividade do milho empregou-se, neste trabalho, uma rede de drenagem com drenos abertos espaçados de 30,0 m e com profundidade de 1,2 m, da várzea anexa à Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (EA-UFG), com área de 120 m² de influência dos drenos. Foram abertos seis poços na mesma profundidade do canal de drenagem, posicionados no sentido do comprimento dos drenos e na metade do espaçamento entre drenos, com o objetivo de se determinar a condutividade hidráulica do solo saturado pelo método do furo do trado (Figura 1).

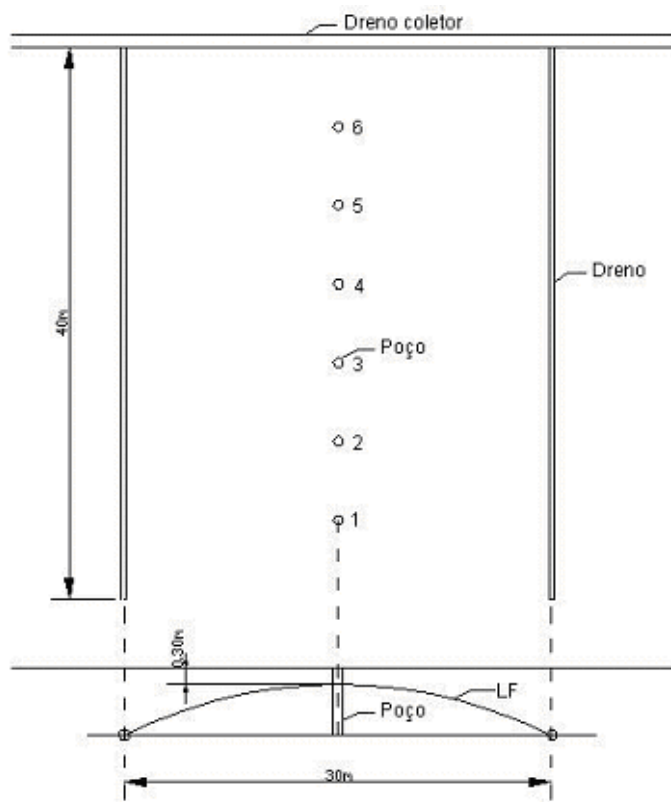


Figura 1: Croqui da área experimental

Com a finalidade de se determinar a macroporosidade (M_p), foram coletadas amostras de solo na mesma posição e profundidade dos poços. Os valores da condutividade hidráulica do solo saturado e

macroporosidade estão apresentados na Tabela 1, na qual se pode observar a variabilidade dos valores encontrados com coeficientes de variação de 66 e 29%, respectivamente.

Tabela 1: Valores da condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) e macroporosidade (M_p) para os diferentes poços

Poço	K_o (m d ⁻¹)	M_p (m ³ m ⁻³)
1	1,01	0,083
2	1,71	0,120
3	2,26	0,150
4	1,59	0,118
5	2,41	0,135
6	5,50	0,200

Na determinação do espaçamento entre drenos e da oscilação do lençol freático, empregou-se a equação

de Krayjenhoff van de Leur (equação 1) implementada no software DRENO.

$$h = \frac{4P}{\pi M_p} j \sum_{i=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{i^3} \left[\exp\left(\frac{i^2}{j} b\right) - 1 \right] \exp\left(-\frac{i^2}{j} t\right) \tag{1}$$

$$j = \frac{M_p L^2}{\pi^2 K_o D} \tag{2}$$

em que:

- h: altura do LF sobre o plano que passa pelos drenos em resposta a uma recarga (m),
- P: recarga do LF (m d⁻¹),
- j: coeficiente de armazenamento (d);
- M_p : macroporosidade (m³ m⁻³),
- b: duração da recarga (d),
- t: tempo contado desde o início da recarga (d),
- L: espaçamento entre drenos (m),
- K_o : condutividade hidráulica do solo saturado (m d⁻¹) e
- D: distância entre o plano equivalente de Hooghoudt e a altura média do LF sobre o plano que passa pelos drenos no seu semi-espaçamento, durante o tempo b (m).

utilizou-se P = 50 mm, valor obtido por Oliveira *et al.* (2001) pela análise de uma série histórica de dados pluviométricos da rede da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com 20 anos de observação para Goiânia, GO.

Empregando-se a mesma série histórica selecionou-se o ano com maiores valores de precipitação pluviométrica, para o período compreendido entre os meses de setembro e janeiro, para se avaliar a oscilação do lençol freático e o índice de estresse ao excesso de água (Equação 3), proposto por Wesseling (1974), considerando a profundidade efetiva da cultura do milho (coeficiente de drenagem) igual a 0,3 m.

Na verificação do espaçamento entre drenos,

$$SEW_{30} = \sum_{i=1}^n (0,30 - x_i) \tag{3}$$

em que,

- SEW_{30} : índice de estresse ao excesso de água (m);
- x_i : profundidade do LF (m), sendo desprezados os termos negativos do somatório.

Para se avaliar a produtividade relativa da cultura do milho (PRm) empregou-se a equação ajustada por Costa; Cruciani (1998) em função do índice de estresse ao excesso de água, conforme Equação 4.

$$PRm = 0,8307 SEW_{30}^{0,1246}$$

(4)

em que,

SEW_{30} : índice de estresse ao excesso de água (m);
 PRm = produtividade relativa da cultura do milho (%).

obtidos pelo emprego do software DRENO, para os diferentes valores de K_o e $L = 30$ m. De acordo com Skaggs (1981), considera-se adequado o sistema de drenagem que proporciona um SEW_{30} menor que 1,0 ou 2,0 m, durante o ciclo de culturas sensíveis ou tolerantes, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores do índice SEW_{30} , calculados a partir dos valores da profundidade do LF

Tabela 2: Índice SEW_{30} e PRm para os diferentes valores de K_o e espaçamento de dreno de 30 m

Poço	K_o (m d ⁻¹)	SEW_{30} (m)	PRm (%)
1	1,01	20,35	120,9
2	1,71	4,22	99,4
3	2,26	0,74	80,0
4	1,59	5,74	103,3
5	2,41	0,66	78,9
6	5,50	0	-

Pelos resultados obtidos para SEW_{30} , as áreas sobre a influência dos menores valores de K_o (1,01, 1,59 e 1,71 m d⁻¹) estarão sujeitas ao excesso de água na zona do sistema radicular, porém o mesmo não ocorrerá para as áreas com K_o de 2,26, 2,41 e 5,50 m d⁻¹, pois os valores SEW_{30} superam os recomendados por Skaggs (1981).

A Figura 2 apresenta a oscilação do LF com as respectivas recargas simuladas pelo software DRENO, para o menor e maior valores de K_o . Nesta Figura pode-se observar também os períodos em que a altura do LF ultrapassa a profundidade das raízes (coeficiente de drenagem) para $K_o = 1,01$ m d⁻¹. Para $K_o = 5,50$ m d⁻¹, o LF não atinge a profundidade das raízes entre os meses de setembro e janeiro. Apesar dos maiores valores do índice SEW_{30} , terem sido os obtidos para os menores valores de K_o que proporciona maior elevação do LF o mesmo não ocorreu com a PRm, indicando que a produtividade relativa para o milho decresce com o aumento do LF e que o excesso de umidade na profundidade das raízes não comprometeu o rendimento da cultura, como se pode observar na Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta os valores do espaçamento entre drenos, calculados empregando-se o software DRENO, para uma recarga do LF de 50 mm possível de ser igualada ou superada a cada 5 anos. Para os diferentes valores de K_o , verificou-se variação percentual entre os valores dos espaçamentos entre drenos calculados e o $L = 30,0$ m, entre -10,0 a 155,0 %. O espaçamento L que mais se aproximou do implantado no campo, foi o calculado para $K_o = 1,01$ m d⁻¹, o que permite concluir empregou-se no dimensionamento da rede de drenagem avaliada neste trabalho um valor de K_o próximo de 1,01 m d⁻¹.

Pelos resultados obtidos, verifica-se que, o estudo da variabilidade espacial na determinação da condutividade hidráulica, para fins de projeto de drenagem agrícola é de suma importância para o sucesso do empreendimento, pois esta variabilidade afeta sensivelmente a oscilação do lençol freático, o espaçamento entre drenos e a produtividade da cultura.

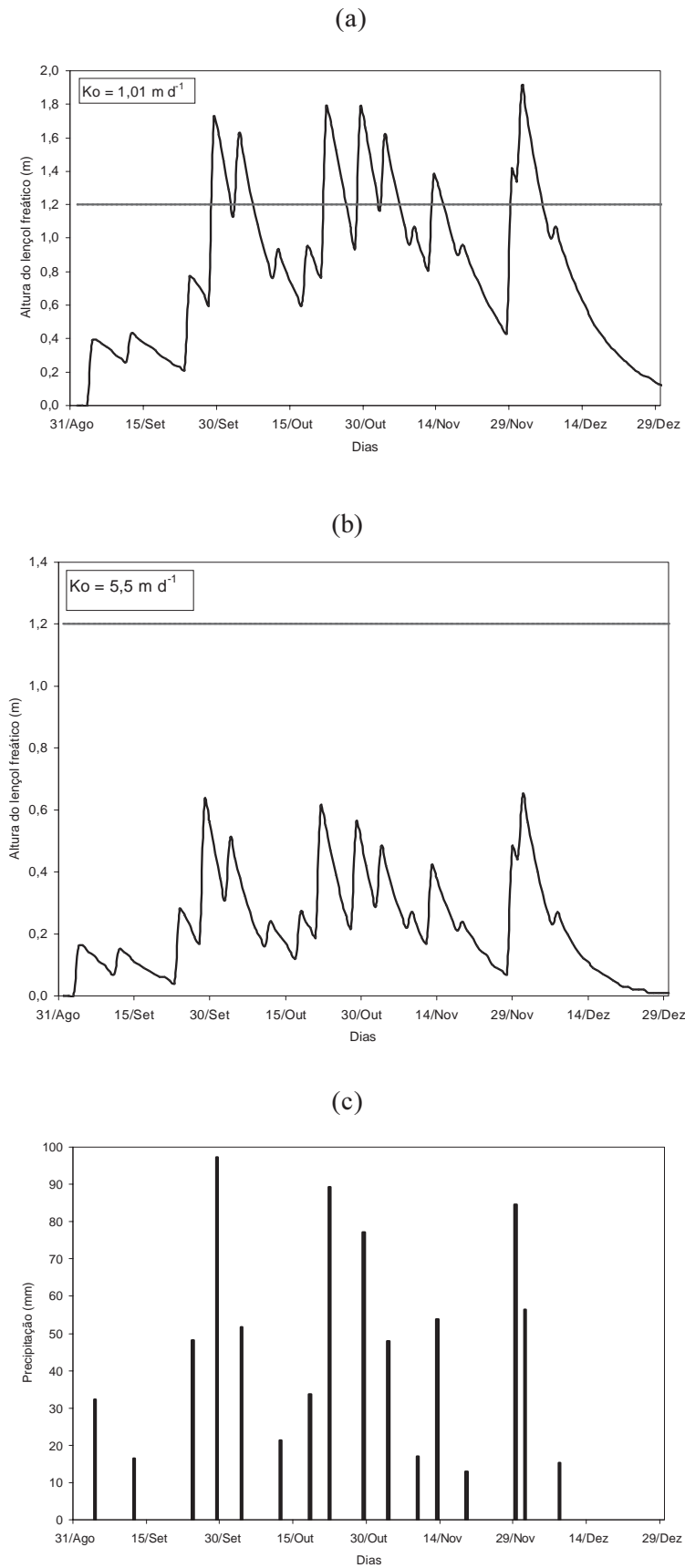


Figura 2: Oscilação do LF para K_o de 1,01 (a) e 5,50 mm dia^{-1} (b) com as respectivas recargas entre os meses de setembro e janeiro (c).

Tabela 3: Espaçamento entre drenos para os diferentes valores de K_o e $P = 50$ mm

Poço	K_o (m d ⁻¹)	L (m)	ΔL (%)
1	1,01	27,0	-10,0
2	1,71	39,3	31,0
3	2,26	48,7	62,3
4	1,59	38,4	28,0
5	2,41	51,9	73,0
6	5,50	76,5	155,0

CONCLUSÃO

As áreas sobre a influência dos valores menores de K_o , o índice de estresse ao excesso de água superam os recomendados proporcionando maior elevação do lençol freático mas o excesso de umidade na profundidade das raízes não comprometeu o rendimento da cultura do milho, indicando que a produtividade relativa para o milho

decrece com o aumento do lençol freático. Os valores dos espaçamentos entre drenos calculados apresentaram uma variação percentual de -10,0 a 155,0%, quando comparado com o espaçamento real dos drenos (30 m), sendo que o valor do espaçamento entre drenos que mais se aproximou do real, foi aquele calculado para $K_o = 1,01$ mm.d⁻¹.

ABSTRACT: This work was developed in order to evaluate the influence of hydraulic conductivity (K_o) in the water table height (LF), spacing between drains (L) and maize productivity. For such, the value of K_o was determined in a drained area installed in the Federal University of Goiás-Brazil. With aid of the software DRENO, the oscillation of LF was evaluated for different recharges, spacing between the drains and values of K_o , permitting to obtain the stress index to the excess of water (SEW_{30}) and the relative productivity for the maize culture (PRm). With the results obtained for SEW_{30} , it was detected that the areas under the influence of the smallest values of K_o , were subjected to excess water in the root zone. The PRm decreased with the increase of LF and the excess humidity at the root depth did not affect maize yield. The percent variation among the calculated values of the spacings between drains and $L = 30,0$ m, varied from -10.0 to 155.0%, indicating that the spacing L that most approached that of the field was calculated for $K_o = 1.01$ mm day⁻¹, which, perhaps, was used in the design of the drainage net evaluated in this work.

UNITERMS: Drainage, Water table, Hydraulic conductivity

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELTRÁN, J. M. **Drenaje agrícola**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentacion, 1986. 239 p.
- BENZ, L. C.; REICHMAN, G. A.; DOERING, E. J.; FOLLET, R. F. Water table depth and irrigation effects on applied-water-use efficiencies of three crops. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.21, p.723-728. 1978.
- BOWER, H. Developing drainage criteria. In: VAN SCHILFGAARD, J. **Drainage for agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1974. p.67-81.
- CALHEIROS R. O.; CRUCIANI, D. E.; ARRUDA, F. B.; VOLTAN, R. B. Q.; SAKAI, E. ; PIRES, R. C. M. Efeito do manejo do lençol freático na adaptação fisiomorfológica de duas espécies de trigo ao encharcamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p.194-202, 2000.

CARLESSO, R.; BARTH, B. D.; MARCHEZAN, E.; FRIZZO, Z. Espaçamento entre drenos superficiais em planossolo para cultivo de plantas anuais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.9, n. 1, p. 1-15, 2001.

COSTA, R. N. T.; CRUCIANI, D. E. Parâmetros de produção do milho piranão VD-2 em condições de várzea drenada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 1, p.11-18. 1998.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. São Paulo: Nobel, 1987. 337 p.

DUARTE, Sérgio Nascimento. **Modelo para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem subterrânea e cálculo de espaçamento de drenos**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DUARTE, S. N.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F.; MARTINEZ, M. A. Modelo para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem subterrânea e cálculo de espaçamento de drenos. Parte I: desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 1, p. 19-31, 1998.

FARIA, R. T.; POSTIGLIONI, S. R. Avaliação de cultivos de inverno em sucessão com arroz em várzeas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 11-21, 1997.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho. **Modelo para transporte de solutos no solo e no escoamento superficial**. 1999. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. O. A.; CARVALHO, D. F. Regionalização de chuva crítica de projeto de drenagem subterrânea para o estado de Goiás e Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2001, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza: [s.n.], 2001. CD-ROM.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Editoriral Agricola Española, 1985. 542 p.

ROSA, J. A. Níveis de drenagem para a cultura do feijoeiro em várzeas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 8, p. 947-954, 1993.

SKAGGS, R. W. DRAINMOD – Reference report: methods for design and evaluation of drainage-water management systems for soils with high water tables. **Raleigh: USDA-SCS, 1981. 329 p.**

WESSELING, J. Crop growth and wet soils. In: VAN SCHILFGAARD, J. **Drainage for agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1974. p. 7-37.