

POLIETILENO, COMPACTAÇÃO E TRATAMENTO QUÍMICO NA REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA POR INFILTRAÇÃO EM CANAIS DE IRRIGAÇÃO¹

LUIZ ANTONIO LIMA²

RESUMO - Foram comparados a eficiência e os custos do polietileno, da compactação e do tratamento químico para reduzir a perda de água por infiltração em canais de irrigação construídos em Latossolo Vermelho-Escuro de cerrado. As reduções ocorridas na condutividade hidráulica de 102 amostras de solo tratadas com diferentes soluções de NaOH e Na₂CO₃ sugeriram a aplicação de 3 e 4 g/l, respectivamente, para reduzir a perda de água por infiltração nos canais. Embora a aplicação de 25 l/m² de NaOH tenha proporcionado redução de mais de 95% nas amostras em laboratório, nos canais esta redução foi de 73% quando foi permitido o secamento do leito, e 75% quando os testes foram conduzidos logo após a aspersão da solução no leito do canal. A aplicação de 25 l/m² de Na₂CO₃ para tratamento dos canais proporcionou redução similar (81%) quando não foi permitido o secamento do leito do canal. Já com o leito do canal seco, a redução foi da ordem de 48% apenas. Acredita-se que esta menor redução seja devido à estrutura do solo já se encontrar modificada antes do tratamento com Na₂CO₃. Em face da ausência de argilas expansivas, bem como da precipitação de alumínio causada por compostos sódicos, acredita-se que as reduções ocorridas tenham sido causadas pelo entupimento de macroporos por partículas desagregadas pela remoção dos agentes cimentantes do solo. Das alternativas testadas, o polietileno foi o mais eficiente, pois reduziu completamente a perda de água por infiltração. Já a compactação, elevando de 1,03 para 1,52 g/cm³ a densidade do leito do canal, permitiu reduzir em aproximadamente 90% a perda de água por infiltração. Com relação aos custos, o polietileno revelou ser aproximadamente 15 vezes mais caro que o tratamento químico e 5 vezes mais caro que a compactação.

Termos para indexação: solos, condutividade hidráulica, sódio.

POLYETHYLENE, COMPACTION AND CHEMICAL TREATMENTS TO REDUCE THE SEEPAGE LOSSES FROM IRRIGATION CHANNELS

ABSTRACT - Efficiency and costs of polyethylene, compaction or chemical treatment to reduce the seepage loss from irrigation channels built in a Dark-Red Latosol of Cerrado soil were compared. Reductions in hydraulic conductivity of 102 soil samples treated with different concentrations of NaOH or Na₂CO₃ suggested respectively the application of 3 and 4 g/l to reduce seepage loss from irrigation channels. Application of 25 l/m² of NaOH on the soil samples caused reductions greater than 95% in the hydraulic conductivity. In the channels the reduction was 73% when the channel was allowed to dry and 75% when the seepage tests were conducted just after the chemical treatment. Application of 25 l/m² of Na₂CO₃ imparted a similar reduction (81%) when the seepage tests were conducted just after the chemical treatment. When the channel was allowed to dry, the reduction was only 48%. It is possible that this low reduction was due to the soil structure already being modified before the chemical treatment with Na₂CO₃. Due to the lack of expansive clays in this soil and the precipitation of aluminum by sodium containing compounds, it is believed that the reductions on seepage loss were caused by blockage of macropores with particles displaced from aggregates disrupted by the removal of cementing agents. Among the alternatives compared, the polyethylene was the best, since it completely stopped the seepage loss from the irrigation channel. The compaction, which raised the bulk density from 1.03 to 1.52 g/cm³, reduced approximately 90% the seepage loss. Comparing the costs, the polyethylene was 15 times more expensive than chemical treatment and 5 times more expensive than soil compaction.

Index terms: soils, hydraulic conductivity, sodium.

INTRODUÇÃO

A eficiência técnica de um projeto de irrigação depende da quantidade total de água aplicada, que envolve, além do uso consuntivo, as perdas de água por condução, escoamento superficial, percolação

¹ Aceito para publicação em 18 de novembro de 1986.

² Eng. - Agr., M.Sc., em Pós-Graduação para Ph.D. Room 106 - Vaihmeier Hall University of California - Davis, Davis - CA 95616, USA.

e evaporação. Lauritzen & Terrel (1967) estimam que a perda de água por condução possa chegar até um terço do volume de água destinado à irrigação. Estatísticas do Bureau of Reclamation dos Estados Unidos, citadas por Lauritzen & Terrel (1967), mostram que a perda de água por condução em 46 projetos de irrigação nos Estados Unidos variou de 3% a 86% do volume de água conduzido.

A perda de água por infiltração em canais não revestidos depende da estrutura porosa do leito do canal. Dados citados por Linsley & Franzini (1972) revelam que a perda de água em canais construídos em leitos argilosos variam de 75 a 230 l/m²/dia, enquanto em canais construídos em leitos arenosos esta perda pode atingir mais de 1.000 l/m²/dia.

É esperado, portanto, que a perda de água em canais não revestidos construídos em Latossolo Vermelho-Escuro de cerrado (LVE) seja alta, em decorrência da acentuada agregação das partículas de argila. Análises granulométricas têm revelado que, embora argiloso, apenas cerca de 15% dos agregados presentes no LVE são menores do que as partículas de areia fina. Wolf (1975) mediu taxas de infiltração de água neste tipo de solo e encontrou valores entre 17 e 22 cm/hora. Embora não se tenha conhecimento da concentração e composição da água utilizada na determinação destes valores, acredita-se que canais de irrigação não revestidos, construídos em LVE, apresentem perda de água por infiltração semelhante aos canais construídos em solos arenosos. Com base nas taxas de infiltração citadas, estima-se que esta perda possa chegar até 4.000 l/m²/dia.

Inúmeras são as alternativas existentes para reduzir a perda de água por infiltração em canais de irrigação construídos em solos LVE. O emprego da compactação do leito do canal apresenta resultados bastante satisfatórios, e custa, aproximadamente, um décimo dos custos do revestimento com plástico (Prunel 1975). Embora apresente custos relativamente altos, o uso do plástico como alternativa no revestimento de canais parece ser bastante eficaz. O polietileno, disponível em várias dimensões para atender inúmeras circunstâncias, reduz quase totalmente as perdas de água por infiltração.

Outra alternativa para reduzir perda de água por infiltração envolve o uso de dispersantes químicos

capazes de diminuir a condutividade hidráulica do leito do canal. Estes dispersantes são normalmente a base de sódio, e seu efeito no solo se dá através do inchamento das partículas de argila e ou da desagregação de algumas partículas, causada pelo inchamento ou pela remoção de agentes cimentantes do solo. Ambos os mecanismos reduzem a condutividade hidráulica do solo, e a magnitude deste efeito depende da concentração de sódio presente nas partículas de argila, da composição e concentração total da solução do solo e do teor de agentes cimentantes presentes no solo.

Embora inúmeros trabalhos tenham sido publicados sobre os efeitos do sódio no solo, poucos são os que descrevem estes efeitos em solos tropicais. El Rayah & Rowell (1973) observaram reduções no inchamento de flocos de montmorilonita saturados com sódio em decorrência da presença de hidróxidos de ferro e alumínio na suspensão onde os flocos se encontravam. El-Swaify & Emerson (1975) afirmam que a variação dos efeitos do ferro e do alumínio na estabilização da estrutura do solo se deve a diferenças nas cargas elétricas, no formato e distribuição dos precipitados. McNeal et al. (1968) observaram, após a remoção dos óxidos de ferro de alguns solos do Havai, reduções superiores a 95% na condutividade hidráulica de uma solução de NaCl (12,5 me/l). Estudos conduzidos por Jayawardane & Beattie (1979) em um solo com aproximadamente 5% de óxidos de ferro, 40% de argila, 25% de silte e 35% de areia mostraram que a condutividade hidráulica de amostras previamente saturadas por 48 horas em solução com RAS³ - 20 foi reduzida em cerca de 50% quando a concentração foi reduzida de 640 me/l para 10 me/l. Ao contrário das reduções observadas por McNeal et al. (1968), as reduções observadas por Jayawardane & Beattie (1979) parecem ter ocorrido não somente em face do efeito da remoção do ferro na desagregação do solo, mas também em decorrência do efeito do sódio na espessura da dupla camada iônica.

Um dos primeiros testes com dispersantes químicos no Brasil foi conduzido por Paiva & Medina (1948), que sugeriram o emprego de soda cáustica 0,3% para reduzir as perdas de água por infiltração em canais de irrigação. Duarte (1961), conduzindo testes similares, concluiu, que o uso do NaOH pa-

recia mais eficaz do que o uso do Na_2CO_3 . Interaminense et al. (1975) observaram que o emprego de 25 l/m^2 de 1% de NaOH, Na_2CO_3 ou Na_2SiO_3 pôde reduzir substancialmente a perda de água por infiltração em canais de irrigação construídos em Podzólico Vermelho-Amarelo.

O presente trabalho visa analisar a eficiência e o custo do revestimento com polietileno, da compactação e do tratamento químico com soda cáustica (NaOH) e soda (Na_2CO_3) na redução das perdas de água por infiltração em canais de irrigação construídos em solos LVE de Cerrado.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}} \quad \text{Na, Ca, Mg em me/l}$$

MATERIAL E MÉTODOS

Através do método do "Infiltrômetro de Canal ou Açudagem", descrito por Bernardo (1982) como o mais preciso, mediram-se as perdas de água por infiltração em quatro canais construídos em solos LVE de cerrados. Os canais foram construídos com $1,20 \text{ m}$ de perímetro molhado, $0,17 \text{ m}^2$ de área molhada e talude 1,5:1. O método usado para medir a infiltração consiste em isolar um trecho do canal com comportas e medir o volume de água infiltrado. Para cada canal foi isolado um trecho de 5 m de extensão onde a perda de água foi determinada após 72 horas de infiltração. A água evaporada do trecho foi estimada através de dados de evaporação de um tanque "classe A" existente próximo aos canais.

Após os testes de infiltração, os canais foram aspergidos com dispersantes químicos nas concentrações ($3,0 \text{ g/l}$ NaOH e $4,0 \text{ g/l}$ Na_2CO_3) resultantes de testes prévios conduzidos em laboratório, onde a condutividade hidráulica de 102 amostras indeformadas (5 cm de diâmetro e 5 cm de altura) foi medida antes e após substituir a solução do solo por soluções de NaOH e Na_2CO_3 em diferentes concentrações. Para determinação da condutividade hidráulica foram empregados permeâmetros de carga constante para amostras com condutividade hidráulica superior a $3,0 \text{ cm/hora}$ e permeâmetro de carga variável para amostras com condutividade hidráulica menor que $3,0 \text{ cm/hora}$. A condutividade elétrica da água usada nas determinações era de $0,1 \text{ mmho/cm}$. As reduções ocorridas na condutividade hidráulica após o tratamento com NaOH e Na_2CO_3 são apresentadas na Tabela 1 e serão discutidas em outra seção deste trabalho. O volume de solução empregado nos testes de laboratório e de campo foi aproximadamente o mesmo volume utilizado por Interaminense et al. (1975), ou seja 25 l/m^2 . Os dispersantes empregados no tratamento dos canais foram adquiridos no comércio do Distrito Federal e após analisados apresentaram os resultados presentes na Tabela 2.

TABELA 1. Redução percentual da condutividade hidráulica de amostras de solo LVE tratadas com diferentes concentrações de NaOH ou Na_2CO_3 .

Concentração (g/l)	NaOH 25 l/m^2	Na_2CO_3 25 l/m^2
0,0	8,60 a	7,36 a
0,05	19,64 b	—
0,2	32,98 c	—
0,5	92,54 d	—
1,0	96,24 d	48,74 b
2,0	—	62,06 cd
3,0	99,81 d	61,77 d
4,0	—	74,65 ce
5,0	99,82 d	80,87 efg
6,0	—	79,60 ef
10,0	—	90,41 fgh
20,0	—	93,28 gh
50,0	—	96,58 h

Obs.: Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Após os tratamentos químicos, novos testes de infiltração foram conduzidos para avaliar as reduções nas perdas de água por infiltração. Nos canais 3 e 4 estes testes foram iniciados logo após a aplicação dos dispersantes, ao passo que nos canais 1 e 2 os testes foram iniciados somente três dias após o tratamento, seguindo recomendações de Barreto (1974).

Outro canal, com 8 m de extensão, foi construído com as mesmas dimensões dos demais canais. Um trecho de 4 m deste canal foi compactado após determinada a perda de água por infiltração. Para isto foi utilizado um compactador manual de 5 kg , que permitiu rebaixar o leito do canal em aproximadamente 5 cm , aumentando para $1,52 \text{ g/cm}^3$ a densidade aparente do leito, que era de $1,03 \text{ g/cm}^3$. A compactação foi feita após submeter-se o leito do canal à umidade de, aproximadamente, 22,5%. Este nível de umidade tem sido recomendado por Pruntel (1975) como a umidade ótima para compactação dos solos LVE de cerrado.

Em outro canal foi instalado um revestimento de polietileno com 1 mm de espessura, $2,80 \text{ m}$ de largura e 120 m de extensão. O revestimento foi ancorado de metro em metro com ganchos construídos com ferro $1/4''$ e 30 cm de comprimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As reduções ocorridas na condutividade hidráulica saturada das amostras de LVE tratadas com

NaOH ou Na_2CO_3 são apresentadas na Tabela 1. A condutividade hidráulica média observada em 102 amostras coletadas numa profundidade de 10 cm - 30 cm foi de 16,69 cm/hora, com desvio-padrão de 5,31 cm/hora. Observa-se, nos resultados da Tabela 1, que o tratamento com água destilada reduziu em cerca de 8% a condutividade hidráulica das amostras de solo. Já o tratamento com solução 0,5 g/l de NaOH proporcionou reduções superiores a 90% na condutividade hidráulica. Reduções desta ordem foram proporcionadas pelo Na_2CO_3 somente quando a concentração foi elevada para 10,0 g/l. Estas concentrações equivalem, respectivamente, a 12,5 me/l de NaOH e 188,7 me/l de Na_2CO_3 . Estes resultados confirmam a conclusão de Duarte (1961) de que o NaOH é mais eficaz do que o Na_2CO_3 na redução da condutividade hidráulica. Dada a ausência de argilas expansivas no LVE, acredita-se que as reduções observadas sejam devidas à remoção dos agentes cimentantes, provavelmente óxidos de ferro e alumínio. A obstrução dos macroporos pela acumulação de partículas desagregadas foi certamente o principal mecanismo na redução da condutividade hidráulica.

As perdas de água por infiltração nos canais, as reduções ocorridas na permeabilidade do solo após os revestimentos e os custos relativos para cada tratamento, são apresentados na Tabela 3. Observa-se que o revestimento com polietileno foi sem dúvida o mais eficaz sob o ponto de vista técnico. Um ano após o revestimento, o canal não apresentou perdas de água por infiltração. Embora tenham requerido nova inserção ao solo após seis meses aproximadamente, o uso de grampos para fixação do revestimento não apresentou inconvenientes, proporcionando, pelo contrário, um melhor aproveitamento da largura do plástico. Outros sistemas de ancoragem, como valetas laterais, onde as bordas do plástico são enterradas, chegam a consumir cerca de 1,0 metro da largura do revestimento, conforme recomendações dos próprios fabricantes. Entretanto, acredita-se que em solos muito arenosos o uso de grampos para ancoragem do revestimento não seja tão eficiente quanto as valetas laterais.

O revestimento utilizando o processo de compactação do solo também apresentou redução bastante significativa (cerca de 90%) na perda de água por infiltração. Reduções desta ordem dependem

TABELA 2. Análise química dos dispersantes empregados no tratamento químico do leito dos canais.

Produto	Puraza (%)	Sódio (%)	Sódio esperado (%)
Soda	83% Na_2CO_3	47,0	43,4
Soda cáustica	91% NaOH	52,3	57,5

TABELA 3. Perdas de água por infiltração e custos de implantação dos revestimentos.

Canal	Revestimento ou tratamento (25 l/m ²)	Infiltração antes do tratamento (l/m ² /dia)	Infiltração após o tratamento (l/m ² /dia)	Redução percentual da infiltração	Custos Cr\$/m ² (ago/82)
1	Na_2CO_3 4 g/l	470,7	245,1	47,9	44,50
2	NaOH 3 g/l	1508,6	408,2	72,9	42,50
3	NaOH 3 g/l	1394,0	343,0	75,4	42,50
4	Na_2CO_3 4 g/l	1453,5	274,2	81,1	44,50
5	Compactação	1382,9	144,5	89,6	136,00
6	Polietileno 1 mm	—	0,0	100,00	648,00

Obs.: Nos canais 1 e 2 os testes de infiltração foram iniciados após o secamento do leito dos canais.

do nível de compactação obtido, que, por sua vez, depende da umidade do solo, bem como da textura, estrutura e do tipo de argila presente no solo. O emprego de um compactador manual para execução do revestimento consumiu cerca de 1,0 hora/homem por metro quadrado de leito. A automatização do processo de compactação parece ser extremamente necessária para acelerar a implantação do revestimento e reduzir os custos de construção.

Os produtos empregados no tratamento químico dos canais apresentaram grau de pureza satisfatório. Conforme dados listados na Tabela 2, para a marca adquirida, a percentagem de sódio da soda (47%) chegou a superar o valor esperado de 43,4%. Isto se deve, provavelmente, à presença de outros compostos sódicos no produto adquirido.

A aplicação dos dispersantes no leito dos canais apresentou bons resultados. Testes conduzidos nos canais 3 e 4 logo após o tratamento químico revelaram reduções nas perdas de água por infiltração em até 80%, sem variação significativa entre os dispersantes empregados (NaOH e Na_2CO_3). Estes resultados contradizem, em parte, resultados prévios obtidos em laboratório, onde o uso do NaOH proporcionou reduções maiores na condutividade hidráulica saturada.

A menor redução da perda de água por infiltração (47,9%) ocorreu no canal 1, tratado com 25 l/m^2 de Na_2CO_3 4,0 g/l. Esta redução parece ser devida ao baixo nível da perda de água por infiltração antes do tratamento químico, quando a macroporosidade do leito do canal já se encontrava reduzida por qualquer outro processo físico ou químico.

Observou-se, nos canais 1 e 2, onde os testes de infiltração foram iniciados três dias após o tratamento químico, o secamento do leito do canal e o surgimento de rachaduras que possivelmente contribuíram para uma menor redução das perdas de água por infiltração. A crosta formada, também ocorrida nos canais 3 e 4 após o secamento do leito, apresentou placas com dimensões de até 5 cm, que se soltavam exibindo camadas inferiores em estado semelhante ao observado no leito dos canais antes dos tratamentos químicos.

Amostras coletadas no leito dos canais, em profundidade de até 20 cm foram analisadas para avaliar a variação dos efeitos do tratamento químico ao longo do perfil. Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que o gradiente de concentração de sódio no leito dos canais variou de acordo com o procedimento adotado após o tratamento químico. Os canais 3 e 4, que foram enchidos logo após a aplicação dos dispersantes, apresentaram concentrações de sódio mais acentuadas na camada de 5 cm - 20 cm. Já os canais 1 e 2, onde foi permitido o secamento do leito após os tratamentos químicos, apresentaram concentrações mais acentuadas na camada superficial, isto é, de 0 cm a 5 cm. A manutenção de água nos canais após o tratamento químico parece ter contribuído com o movimento de sódio. De acordo com as concentrações apresentadas na Tabela 4, observa-se que a presença de NaOH ou Na_2CO_3 permitiu a ocorrência de alumínio somente nas camadas mais profundas do perfil. Embora não se tenham medido as concentrações de óxidos de ferro, acredita-se que algumas formas tenham sido removidas pelo

TABELA 4. Análise química do leito dos canais após os tratamentos químicos.

Camada (cm)	Al^{+++} (mg/100 ml)					Na (ppm)				
	Canal					Canal				
	T	1	2	3	4	T	1	2	3	4
0 - 2	1,22	0,02	0,02	0,10	0,18	0,0	794	633	4	7
0 - 5	1,20	0,26	0,30	0,40	0,28	0,0	214	227	1	20
5 - 10	1,40	1,00	0,70	0,88	0,10	0,0	23	37	26	121
10 - 15	1,40	0,82	0,76	1,04	0,14	0,0	6	39	98	76
15 - 20	1,28	0,64	0,72	0,12	0,08	0,0	33	24	118	63

Obs.: T = testemunha.

sódio em magnitude semelhante à ocorrida com o alumínio.

Análises químicas da camada superficial do leito dos canais revelaram percentagens de sódio trocável de, aproximadamente, 50%, tornando imprescindível a recuperação do perfil, seja através de lixiviação, seja por incorporação de cálcio, caso o leito dos canais venha a ser reaproveitado para agricultura.

Finalmente, observa-se, na Tabela 3, que o tratamento químico constituiu a alternativa de menor custo, não havendo diferença significativa entre os produtos empregados. Por outro lado, o revestimento com polietileno custou aproximadamente 15 vezes mais que o tratamento químico e 5 vezes mais que a compactação. Dos revestimentos testados, a compactação revelou ser a alternativa a consumir mais tempo.

CONCLUSÕES

1. Dos revestimentos testados, o polietileno apresentou melhores resultados, reduzindo a perda de água por infiltração com mais eficiência do que a compactação e o tratamento químico com sódio. Entretanto, os custos revelaram que o uso do polietileno requer altos investimentos em relação às outras alternativas.

2. A compactação do leito do canal construído em solo LVE de cerrado, executada com o solo em níveis ótimos de umidade, pôde reduzir em cerca de 90% a perda de água por infiltração. Os custos envolvidos na compactação foram maiores do que os custos do tratamento químico dos canais.

3. O tratamento químico com NaOH ou Na₂CO₃ de canais construídos em solos LVE de cerrado apresentou custos de implantação reduzidos e pôde diminuir em até 80% as perdas de água por infiltração. O secamento do leito do canal após o tratamento químico parece ser desaconselhável. O enchimento do canal após a aplicação dos dispersantes promoveu uma melhor distribuição de sódio no solo, o que permitiu remover com mais eficácia os agentes cimentantes, reduzindo, portanto, em maior magnitude, a perda de água por infiltração.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados e ao CNPq pelo auxílio financeiro à elaboração do presente trabalho. O autor agradece também as inúmeras sugestões feitas pelos pesquisadores Morethson Resende e Euzébio Medrado da Silva.

REFERÊNCIAS

- BARRETO, G.B. Açudagem. In: IRRIGAÇÃO; princípios, métodos e prática. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1974. cap. 3, p.51-68.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa, Imprensa Universitária da UFV, 1982. 463p.
- DUARTE, E.F. Impermeabilização de canais em terra com solução de soda cáustica. R. Agronomia, Rio de Janeiro, 19(3/4):5-13, 1961.
- EL RAYAH, H.M.E. & ROWELL, D.L. The influence of iron and aluminum hydroxides on the swelling of Na-montmorillonite and the permeability of a Na-soil. J. Soil Sci., 24:137-44, 1973.
- EL-SWAIFY & EMERSON, W.W. Changes in the physical properties of soil clays due to precipitated aluminum and iron hydroxides. I. Swelling and aggregate stability after drying. Soil Sci. Am. Proc., 39:1056-63, 1975.
- INTERAMINENSE, A.E.; LOUREIRO, B.T.; SILVA, J.S. e; SILVA, T.C.A. Impermeabilização de canais de terra com substâncias químicas, para fins de irrigação. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, 1975. Anais. s.l., DNOCS, s.d. p.302-17.
- JAYAWARDANE, N.S. & BEATTIE, J.A. An equivalent salt solutions method for predicting hydraulic conductivities of soils for different salt solutions. Aust. J. Soil Res., 17:423-8, 1979.
- LAURITZEN, C.W. & TERREL, P.W. Reducing water losses in conveyance and storage. In: HAGAN, R. M.; HOWARD, R.H.; EDMINSTER, T.W. Irrigation of agricultural lands. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.1105-19.
- LINSLEY, R.K. & FRANZINI, J.B. Water resources engineering. 2. ed. New York, McGraw-Hill, 1972. 690p.
- MCNEAL, B.L.; LAYFIELD, D.A.; NORWELL, W.A.; RHOADES, J.D. Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed-salt solutions. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32:187-90, 1968.
- PAIVA, J.E. & MEDINA, H.P. Impermeabilização e enriquecimento de barragens e canais para irrigação. Colh. e Merc., 4:43-4, 1948.

PRUNTEL, J. Water availability and soil suitability for irrigation water impoundments in Federal District of Brazil. Ithaca, Cornell University, 1975. 113p. Tese Mestrado.

WOLF, J.M. Water constraints to corn production in Central Brazil. Ithaca, Cornell University, 1975. 199p. Tese Ph.D.