

EFEITOS DE POLÍMEROS HIDRORRETENTORES NAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE DOIS MEIOS POROSOS⁽¹⁾

C. L. PREVEDELLO⁽²⁾ & S. P. BALENA⁽³⁾

RESUMO

Com o propósito de avaliar os efeitos de polímeros hidrorretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos, realizou-se um experimento no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Paraná, entre 18/03 e 30/10/97. O polímero hidrorretentor usado foi produzido na Bélgica e os meios porosos foram um Latossolo Vermelho textura argilosa e uma Areia Quartzosa Marinha, ambos na forma de TFSA. Os polímeros foram aplicados na forma de grãos passados em peneira de 0,5 e 1 mm de diâmetro, nas seguintes concentrações: 0, 2, 4, 8, 16 e 32 kg m⁻³. Foram elaboradas as curvas de retenção a baixas tensões (0; 0,025; 0,045; 0,10; 0,20; 0,60; 1,5 e 3,0 mH₂O), medidas as condutividades hidráulicas saturadas e estimados os diâmetros médios de poros. O processo da evaporação de água do solo foi simulado por modelagem numérica. As curvas de retenção de água medidas e os perfis de umidade simulados da evaporação afastaram-se consideravelmente da origem (testemunhas) pela adição de polímeros, particularmente na Areia Quartzosa Marinha. O diâmetro médio de poros também aumentou progressivamente com o aumento da concentração de polímeros. Foi verificado que, nas concentrações de polímeros acima de 8 kg m⁻³, as propriedades físico-hídricas dos meios porosos foram dominadas pela ação dos polímeros hidrorretentores.

Termos de indexação: polímeros hidrorretentores, hidrogéis, retenção de água.

⁽¹⁾ Trabalho enviado para publicação em agosto de 1999 e aprovado em março de 2000.

⁽²⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, Universidade Federal do Paraná - UFPR. Caixa Postal 2959, CEP 80035-050 Curitiba (PR). E-mail: clpreve@agrarias.ufpr.br

⁽³⁾ Física, MSc. em Agronomia, CEFET-PR/UNED-PB, Caixa Postal 571, CEP 85503-390 Pato Branco (PR).

ABSTRACT: EFFECT OF HYDRORETENTIVE POLYMERS ON THE PHYSICAL AND HYDRAULIC PROPERTIES OF TWO POROUS MEDIA

The purpose of this work was to verify the effect of hidroretentive polymers on the physical and hydraulic properties of two porous media. The experiments were carried out at the Soil Physics Laboratory at the Federal University of Paraná from 03/18 to 10/30/97. The research was developed using a Belgium type of retentive polymer incorporated in two porous media with their different physico-chemical properties; a Dark Red Oxisol and Marine Quartzous sand. The polymers were applied as dried grains at the following concentrations: 0, 2, 4, 8, 16 and 32 kg m⁻³. Water retention curves were elaborated for the tensions of 0.00; 0.025; 0.045; 0.10; 0.20; 0.60; 1.50 and 3.00 mH₂O. The values of the saturated hydraulic conductivity were measured and the mean diameter of the pores estimated. The process of water evaporation from soil was considered for numeric simulation. Water retention curves and the moisture profiles by simulated evaporation were considerably different from reference points after the addition of polymers, particularly in the Marine Quartzous sand. The mean diameter of pores progressively increased with increasing polymer concentration. It was also verified that at the concentrations of 8 kg m⁻³, the physical and hydraulic properties of the soil did not present their natural effects and were overcome by the action of the polymers.

Index terms: hidroretentive polymers, hydrogels, water retention.

INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a produção de alimentos, aliada à globalização do comércio e à competitividade dos produtos agrícolas, tem estimulado cooperativas e produtores a buscarem técnicas alternativas para a melhoria da produtividade e redução de custos. Deste modo, os polímeros hidrorretentores passaram a ser pesquisados como forma de minimizar os problemas associados à baixa produtividade, geralmente provocada pela disponibilidade irregular ou deficitária de água e má estruturação do solo. Esses polímeros, arranjo de moléculas orgânicas, quando secos, apresentam forma granular e quebradiça. Ao serem hidratados, transformam-se em gel, cuja forma macia e elástica possibilita absorver cerca de cem vezes o seu peso em água, ou mais (Fonteno & Bilderback, 1993). Inicialmente utilizados como alternativa de produção para as regiões de clima árido, sua aplicação tornou-se conhecida nas diferentes partes do planeta, diversificando-se, sobremaneira, em hortaliças e culturas anuais. A maior parte das pesquisas realizadas mostrou-se favorável ao emprego de polímeros nos solos agrícolas, apresentando como principal fator de convergência a melhor utilização da água (Flannery & Busscher, 1982; Azzam, 1983; Baasiri et al., 1986; Blodgett et al., 1993; Volkmar & Chang, 1995).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de polímeros hidrorretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos de distintas propriedades físico-químicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram usadas diferentes concentrações de um tipo de polímero hidrorretentor industrializado na Bélgica, disponibilizado no Brasil pela Terracotem do Brasil Ltda., em dois meios porosos de distintas propriedades físico-químicas: um Latossolo Vermelho textura argilosa, do município de Pato Branco (PR), e uma Areia Quartzosa Marinha, do balneário Caiobá, município de Matinhos, litoral paranaense. O polímero utilizado continha 49,75% de sílica, 39,5% de moléculas orgânicas, 1,05% de macroelementos e 0,25% de estimulantes de crescimento. As concentrações de polímero usadas foram: 0; 2; 4; 8; 16 e 32 kg m⁻³. Os materiais porosos foram utilizados na forma de TFSA, acondicionados em cilindros de PVC, com 40 mm de diâmetro e 30 mm de altura.

Os ensaios foram realizados no laboratório de Física do Solo da UFPR. Para que a incorporação desses polímeros fosse mais homogênea, considerando as reduzidas concentrações e dimensões das amostras, além da grande variabilidade granulométrica do polímero usado, optou-se por peneirá-lo, aproveitando somente as frações retidas entre as malhas de 0,5 e 1,0 mm de diâmetro. Testes prévios mostraram que esse procedimento não alterou as propriedades de retenção do polímero.

Foram elaboradas as curvas de retenção de água, com cinco repetições por concentração de polímero e para cada meio poroso. As tensões utilizadas foram: 0; 0,025; 0,045; 0,10; 0,20; 0,60; 1,50 e 3,00 mH₂O. A condutividade hidráulica saturada, K_s , foi

determinada por meio de permeâmetro de carga constante (média de cinco repetições). Utilizando a equação de Van Genuchten (1980), qual seja,

$$\theta(p/\rho g) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha|p/\rho g|)^n]^m} \quad (1)$$

os dados médios da curva de retenção foram ajustados por regressão não-linear, conforme Boratto (1984), conhecendo-se, desta forma, os parâmetros independentes θ_r , θ_s , α , m e n , da equação (1), os quais, juntamente com os valores de K_s , foram usados para calcular a condutividade hidráulica em função da umidade pela expressão (Van Genuchten, 1980):

$$K(\theta) = K_s \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right]^{1/2} \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{1/m} \right]^m \right\}^2 \quad (2)$$

Com o auxílio da expressão definida por Prevedello (1996), qual seja,

$$r = \frac{2\sigma\alpha \cos\phi}{\rho g} \left[\frac{n-1}{n} \right]^{-1/n} \quad (3)$$

calculou-se o tamanho de poros que continham maior quantidade de água num solo (que armazenam mais água), convencionalmente chamado “tamanho médio de poros”.

De posse dos parâmetros independentes da equação (1), juntamente com os valores da condutividade hidráulica saturada, e do modelo numérico proposto por Prevedello (1996) para a simulação do processo da evaporação da água no solo, realizou-se a simulação da evaporação de água e dos perfis de umidade após 168 h de evaporação, na taxa de 5 mm/d, para as diferentes concentrações de polímero, nos dois meios porosos.

Finalmente, visando identificar a concentração a partir da qual os polímeros exercem influência dominante sobre a natureza dos meios porosos, estabeleceram-se, entre o Latossolo e a Areia Quartzosa Marinha, as relações dos valores de umidade nas diversas tensões $|p/\rho g|$, dos parâmetros independentes da equação (1) e do diâmetro de poros que armazenam mais água (Equação 3).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito dos polímeros nas propriedades físico-hídricas

Os polímeros produziram um decréscimo nos valores da condutividade hidráulica saturada (K_s), tanto no Latossolo quanto na Areia Quartzosa Marinha. No Latossolo, o decréscimo ocorreu de forma gradual, embora sua grande expressividade

tenha sido para a concentração de 32 kg m⁻³. Na Areia Quartzosa Marinha, os valores do K_s apresentaram pequenas variações até à concentração de 8 kg m⁻³, decrescendo proporcionalmente com o aumento da concentração de polímeros, tornando-se aproximadamente cinco vezes menor para a concentração de 32 kg m⁻³. O quadro 1 mostra os valores da condutividade hidráulica saturada (K_s), por concentração de polímero, para os dois meios porosos.

Quanto maior a concentração de polímeros, maiores foram os valores dos parâmetros θ_s , θ_r , α , tanto para o Latossolo quanto para a Areia Quartzosa Marinha, como pode ser observado no quadro 2, para o Latossolo, e no quadro 3, para a Areia Quartzosa Marinha.

As figuras 1A e 1B mostram as curvas de retenção de água para o Latossolo e Areia Quartzosa Marinha, respectivamente. Nota-se que a adição de polímeros aumentou a retenção de água nos dois meios porosos. No Latossolo, a capacidade de retenção de água para a concentração de 32 kg m⁻³ foi acrescida em 1,3 vez para a menor tensão (0,025 mH₂O) e 1,9 vez para a maior tensão (3,00 mH₂O). O incremento foi ainda

Quadro 1. Valores médios (média de cinco repetições) da condutividade hidráulica saturada (K_s), por concentração de polímero, para os dois meios porosos

Concentração de polímero	K_s do Latossolo	K_s da Areia Marinha
kg m ⁻³	m s ⁻¹	
0	4,38 x 10 ⁻⁴	1,63 x 10 ⁻⁴
2	3,05 x 10 ⁻⁴	1,37 x 10 ⁻⁴
4	2,34 x 10 ⁻⁴	1,16 x 10 ⁻⁴
8	2,25 x 10 ⁻⁴	0,59 x 10 ⁻⁴
16	2,13 x 10 ⁻⁴	0,46 x 10 ⁻⁴
32	1,03 x 10 ⁻⁴	0,34 x 10 ⁻⁴

Quadro 2. Parâmetros da equação de Van Genuchten (1980) para o Latossolo

Concentração	α	m	n	θ_r	θ_s	r^2
kg m ⁻³	m ⁻¹	— m ³ m ⁻³ —				
0	3,824	0,747	3,986	0,278	0,737	1,000
2	4,489	0,652	2,872	0,306	0,773	0,998
4	3,749	0,632	2,713	0,334	0,860	0,995
8	6,990	0,567	2,311	0,354	0,878	0,999
16	8,343	0,556	2,250	0,418	0,903	0,995
32	8,909	0,535	2,149	0,508	0,941	0,996

Quadro 3. Parâmetros da equação de Van Genuchten (1980) para a Areia Quartzosa Marinha

Concentração	α	m	n	θ_r	θ_s	r^2
kg m ⁻³	m ⁻¹			— m ³ m ⁻³ —		
0	2,528	0,628	2,688	0,046	0,447	0,998
2	1,543	0,764	4,233	0,059	0,509	0,998
4	1,922	0,694	3,267	0,118	0,589	0,998
8	6,990	0,563	2,286	0,338	0,650	0,999
16	9,354	0,593	2,459	0,368	0,783	0,998
32	9,977	0,580	2,383	0,459	0,922	0,999

maior na Areia Quartzosa Marinha, registrando um aumento duas vezes maior para a menor tensão e 7,5 vezes maior para a maior tensão. Comparando a inclinação das curvas de retenção de ambos os meios, observa-se que elas adquirem forma muito semelhantes, a partir da concentração de 8 kg m⁻³.

De posse dos valores de θ_r , θ_s , α , n , m e K_s , foram calculadas, pela equação (2), as funções $K(\theta)$ e elaboradas as curvas das figuras 2A, ... 2F, que representam a condutividade hidráulica em função da umidade volumétrica, para ambos os meios porosos.

É interessante observar, nessas figuras, que, com o aumento da concentração de polímero, as curvas da Areia Quartzosa Marinha aproximam-se gradativamente das do Latossolo, sobrepondo-se a partir da concentração de 16 kg m⁻³, como se, a partir dessa concentração, a função $K(\theta)$ fosse unicamente influenciada pela ação do polímero. Isso demonstra, com efeito, que a ação do polímero sobre a retenção de água não foi igual para os dois meios porosos, sendo maior para a Areia Quartzosa Marinha do que para o Latossolo.

Efeito dos polímeros no tamanho médio de poros

O quadro 4 apresenta os valores dos diâmetros médios de poros (DMP) nas diferentes concentrações de polímeros, para os dois meios porosos, segundo Prevedello (1996). O DMP, segundo esse autor,

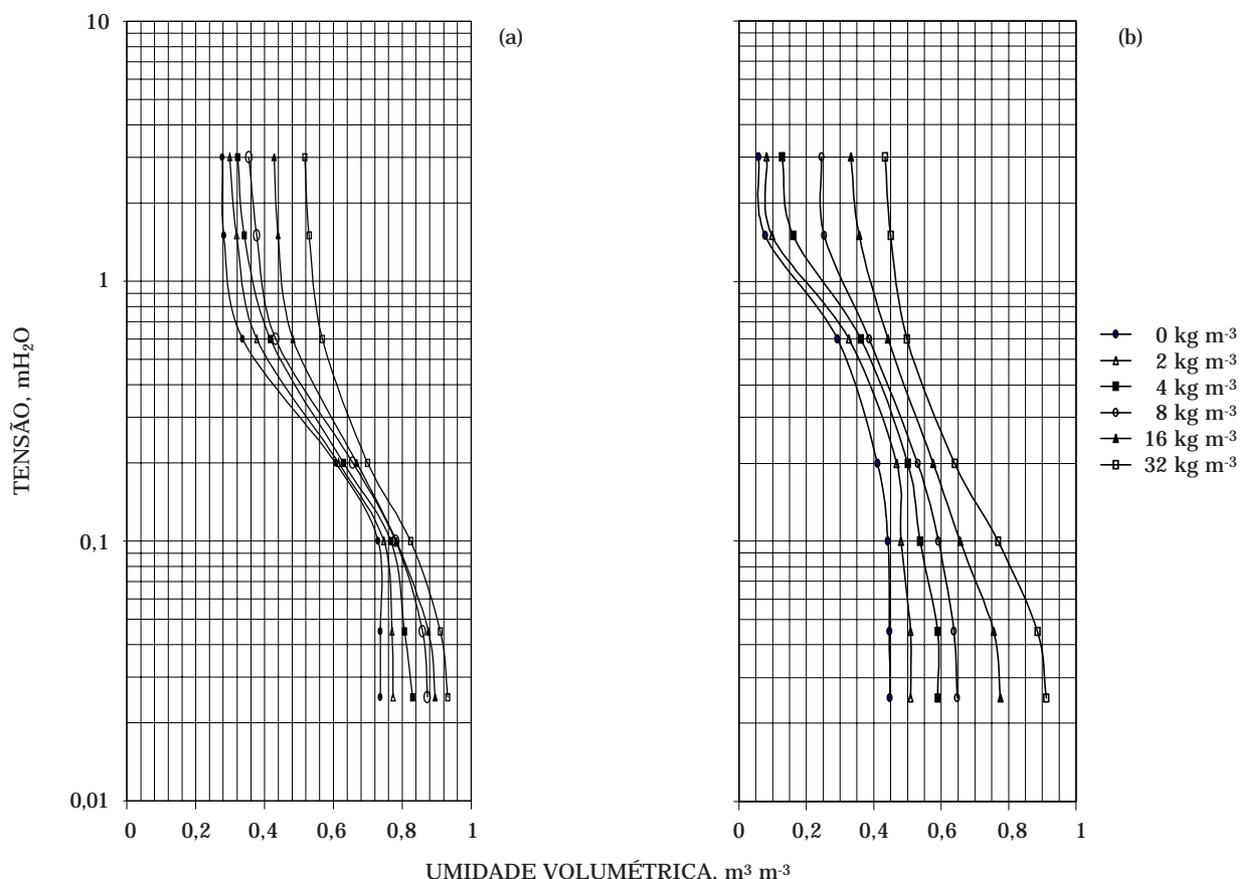


Figura 1. Curva de retenção de água para o Latossolo (a) e Areia Quartzosa Marinha (b), para diversas concentrações de polímero.

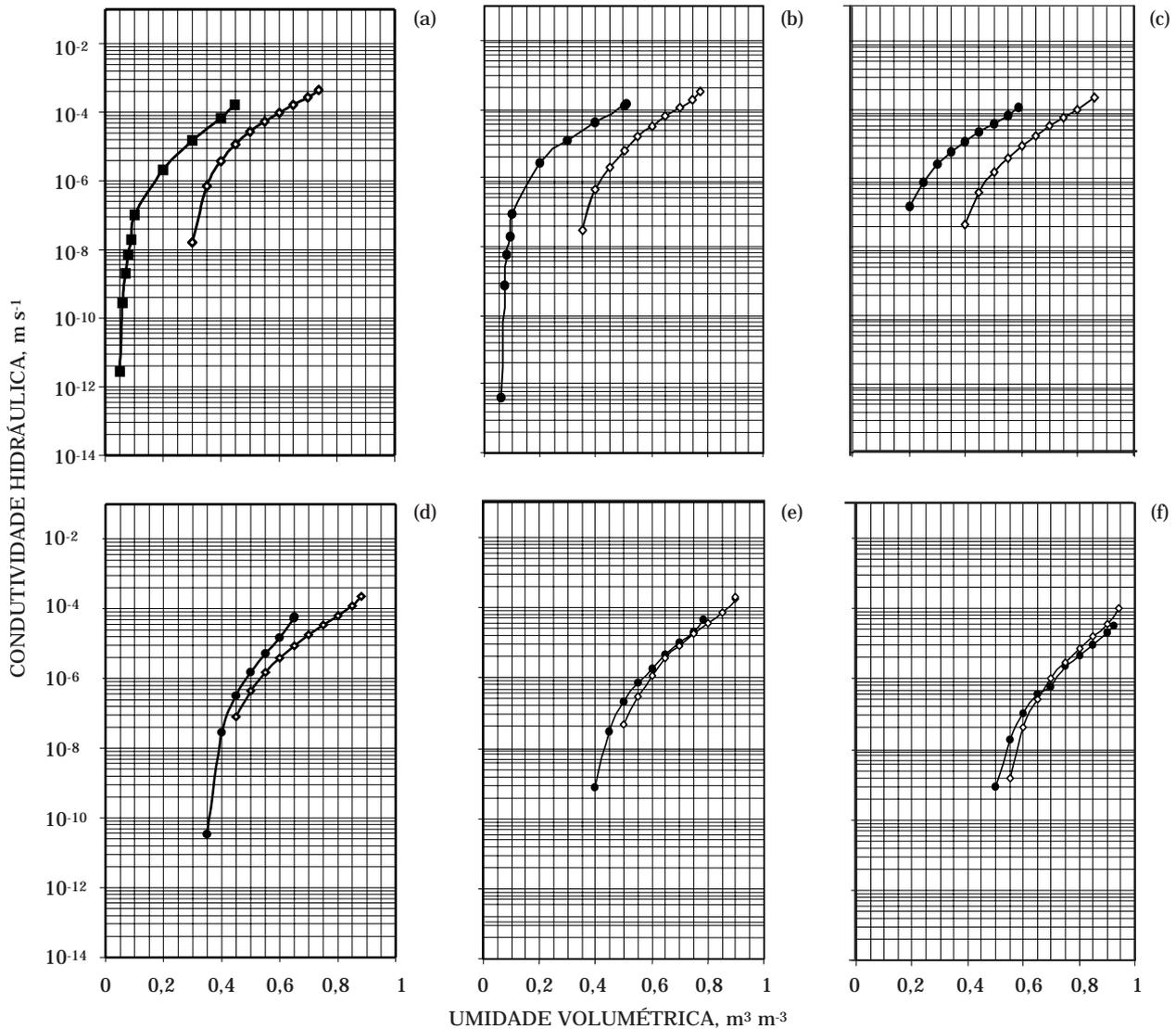


Figura 2. Condutividade hidráulica em função da umidade para as concentrações de hidrorretentor: a = 0; b = 2; c = 4; d = 8; e = 16; f = 32 $kg m^{-3}$. Símbolos cheios: Latossolo; símbolos vazios: Areia Quartzosa Marinha.

representa o diâmetro de poros que armazenam mais água. Em seu estado natural, o DMP foi 1,4 vez maior para o Latossolo do que para a Areia Quartzosa Marinha. Com a adição do polímero, sofreu poucas alterações até à concentração de 8 $kg m^{-3}$. A partir daí, os diâmetros de poros que armazenaram mais água tiveram aumentos progressivos nos dois meios porosos. No Latossolo, o aumento em relação à testemunha foi de 2,20; 2,64 e 2,91, para as concentrações respectivas de 8; 16 e 32 $kg m^{-3}$; e na Areia, de 3,00; 3,85 e 4,20, para as mesmas concentrações.

Efeito dos polímeros na conservação da água do solo

A seqüência dos experimentos revelou que, quanto maior a concentração de polímeros, maiores

Quadro 4. Diâmetro médio de poros que armazenam mais água para o Latossolo e para a Areia Quartzosa Marinha

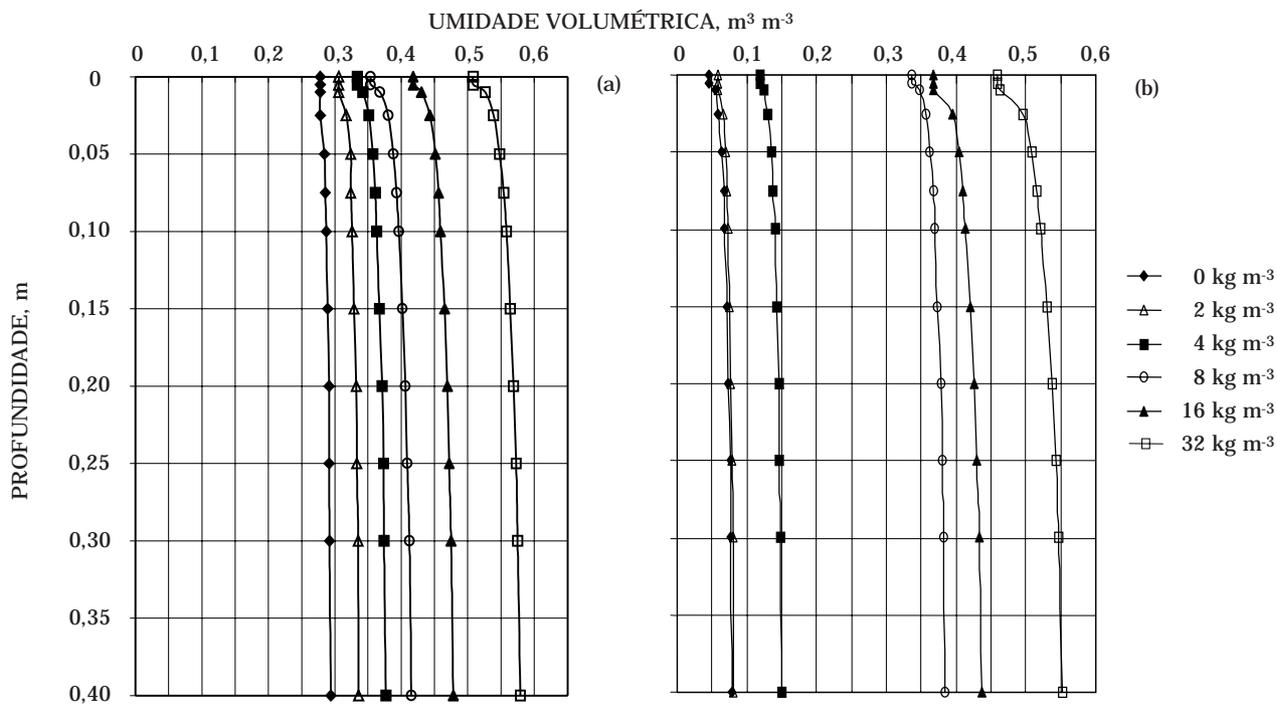
Concentração de polímero	Diâmetro médio de poros	
	Latossolo	Areia Quartzosa Marinha
$kg m^{-3}$	μm	
0	122,0	89,4
2	155,0	48,8
4	132,0	63,8
8	265,8	267,4
16	322,0	344,0
32	354,8	373,2

Quadro 5. Razão adimensional para $p/\beta g$ do Latossolo e da Areia Quartzosa Marinha

Concentração	Tensão (mH ₂ O)						
	2,5	4,5	10	20	60	150	300
0	1,649	1,643	1,339	1,622	1,425	3,5	6,043
2	1,447	1,458	1,450	1,353	1,181	3,6	5,186
4	1,465	1,497	1,395	1,351	1,236	2,34	2,831
8	1,351	1,350	1,315	1,254	1,105	1,092	1,047
16	1,153	1,133	1,182	1,268	1,153	1,176	1,136
32	1,021	1,041	1,058	1,148	1,137	1,128	1,107

Quadro 6. Razão adimensional dos parâmetros independentes: θ_r , θ_s , α , m , n ; e do DMP entre o Latossolo e a Areia Quartzosa Marinha

Concentração	α	m	n	θ_r	θ_s	DMP
0	1,513	1,189	1,483	6,043	1,649	1,365
2	2,909	0,853	0,678	5,186	1,447	3,176
4	1,951	0,911	0,830	2,831	1,465	2,069
8	1,00	1,007	1,011	1,047	1,351	0,994
16	0,892	0,938	0,915	1,136	1,153	0,936
32	0,893	0,922	0,902	1,107	1,021	0,951

**Figura 3. Perfis de umidade simulados pelo modelo numérico de Prevedello (1996) para o Latossolo (a) e Areia Quartzosa Marinha (b).**

foram os valores dos parâmetros θ_r , θ_s e α e menores os valores do K_s , nos dois meios porosos. Como consequência, os perfis de umidade desses meios, para qualquer demanda evaporativa simulada, após 168 h de evaporação, na taxa de 5 mm/d, a partir de uma umidade inicial correspondente à tensão de 0,01 mH₂O, sempre se mostraram mais afastados da origem quanto maior a concentração de polímeros aplicada, como pode ser observado nas figuras 4a e 4b.

A adição de polímeros aumentou progressivamente a umidade do solo, chegando a duplicar a capacidade de armazenamento da água para a concentração de 32 kg m⁻³, o que mostra a grande capacidade desse material em reter e conservar água no solo por períodos apreciáveis de evaporação. Esse efeito é ainda mais evidente na Areia, onde o armazenamento, para o mesmo período de tempo, taxa de evaporação e concentração de polímeros, foi aumentado em cerca de 7,5 vezes. Esses resultados concordam com as afirmações de Tayel et al. (1981) e Wang & Gregg (1990), que dizem que os polímeros hidrorretentores podem ser considerados uma forma eficaz de reduzir a evaporação de água e melhorar o regime hídrico dos solos.

Domínio dos polímeros sobre os efeitos naturais dos meios porosos

Visando identificar a concentração a partir da qual os polímeros exercem influência dominante sobre a natureza dos meios porosos, foram divididos os valores dos parâmetros θ_r , θ_s , α , m , n , DMP e $|p/\rho g|$, obtidos para o Latossolo, pelos respectivos parâmetros da Areia Quartzosa Marinha. Obteve-se, com isso, uma série de razões adimensionais (Quadros 5 e 6). A figura 4 também mostra essas relações, mas de forma generalizada, isto é, sem identificação da

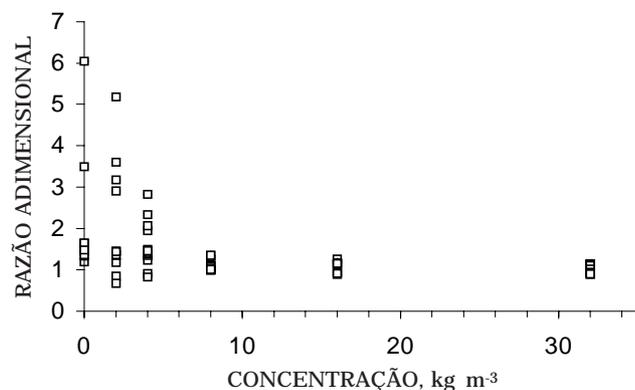


Figura 4. Relação adimensional dos parâmetros indicados nos quadros 5 e 6 em função da concentração de polímeros.

variável considerada. Observa-se que, a partir da concentração de 8 kg m⁻³, os valores dessas relações tornam-se aproximadamente constantes, tendendo para a unidade. Isso mostra, com efeito, que, para concentrações de polímeros acima de 8 kg m⁻³, as propriedades físico-hídricas dos meios porosos já não mais expressam seus efeitos naturais porque são dominadas pelas propriedades dos polímeros.

CONCLUSÕES

1. A capacidade de retenção de água no Latossolo, para a concentração de 32 kg m⁻³, foi acrescida cerca de duas vezes, enquanto, na Areia Quartzosa Marinha, esse valor foi de 7,5 vezes.

2. Os parâmetros θ_r , θ_s e α aumentaram com o aumento da concentração de polímeros, enquanto os valores da condutividade hidráulica decresceram progressivamente.

3. Os valores dos diâmetros de poros que armazenam mais água foram bem superiores quando da incorporação de polímeros, para os dois meios porosos, chegando a aumentar o diâmetro em até quatro vezes.

4. Os perfis de umidade resultantes da simulação do processo de evaporação da água para uma demanda de 5 mm/d, por 168 h, demonstraram que a maior concentração testada duplicou a capacidade de armazenamento de água no Latossolo, enquanto, na Areia Quartzosa Marinha, este aumento foi de 7,5 vezes.

5. De modo geral, a partir das concentrações de 8 kg m⁻³, as propriedades físico-hídricas dos dois meios porosos foram dominadas pelo efeito dos polímeros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos de polímeros hidrorretentores em solos agrícolas ainda suscitam perguntas que necessitam ser respondidas, tais como:

1. Quando hidratados, os polímeros apresentam uma capacidade de retenção, em peso, de até 200 vezes, ou mais. No entanto, se primeiramente forem incorporados aos solos e só então hidratados, esse aumento será na ordem de poucas vezes. Isso pode comprometer a disponibilidade de água às plantas?

2. A redução na condutividade hidráulica saturada dos solos que recebem polímeros, aliada à capacidade de expansão dos hidrogéis, quando hidratados, pode facilitar o processo erosivo?

LITERATURA CITADA

- AZZAM, R.A.I. Polymeric conditioner gels for desert soils. *Comm. Soil Sci. Plant*, 14:739-760, 1983.
- BAASIRI, M.; RYAN, J.; MUCHEIK, M. & HARIK, S.N. Soil application of a hydrophilic conditioner in relation to moisture, irrigation frequency and crop growth. *Soil Sci. Plant*, 17:573-589, 1986.
- BLODGETT, A.M.; BEATTIE, D.J.; WHITE, J.W. & ELLIOTT, G.C. Hydrophilic polymers and wetting agents affect absorption and evaporative water loss. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 28:633-635, 1993.
- BORATTO, F. *BASIC para engenheiros e cientistas*. 2.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1984. 120p.
- FLANNERY, R.L. & BUSSCHER, W.J. Use of a synthetic polymer in potting soils to improve water holding capacity. *Soil Sci. Plant*, 13:103- 111, 1982.
- FONTENO, W.C. & BILDERBACK, T.E. Impact of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 118:217-222, 1993.
- PREVEDELLO, C.L. *Física do solo com problemas resolvidos*. Curitiba, Salesward-Discovery, 1996. 446p.
- TAYEL, M.Y.; ABDED F.M. & EL-HADY, O.A. Effect of soil conditioners on plantgrowth and water use efficiency (A green house experiment). *Hort. Acta*, 119:223-229, 1981.
- van GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Sci. Soc. Am.*, 44:892-898, 1980.
- VOLKMAR, K. M.& CHANG, C. Influence of hydrophilic gel polymers on water relation and growth and yield of barley and canola. *J. Can. Sci. Plant*, 35:605-611, 1995.
- WANG, Y.T. & GREGG, L.L. Hydrophilic polymers – their response to soil amendments and effect on properties of a soilless potting mix. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 115:943-948, 1990.