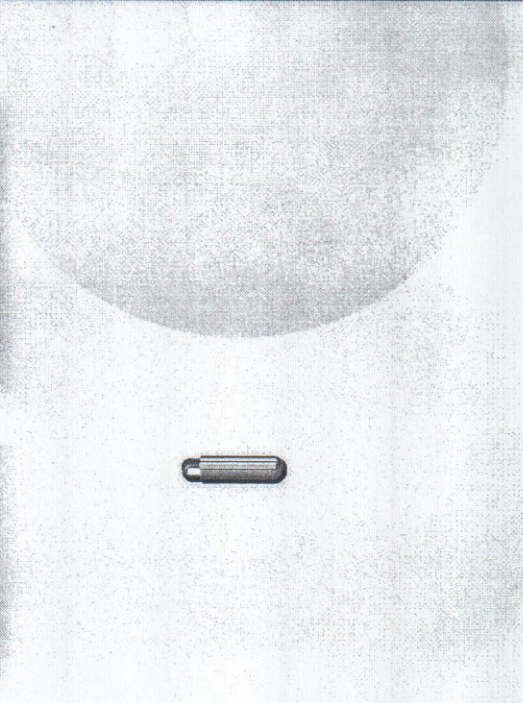


CBE CiMat

Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais

24 a 28 de Novembro 2008 • Porto de Galinhas • PE • Brasil



ESTUDO DAS PROPRIEDADES CINÉTICAS OBTIDAS PARA HIDROGÉIS DE POLIACRILAMIDA E METILCELULOSE

F. A. Aouada ^{1,3*}, E. C. Muniz ², C. M. P. Vaz ³, L. H. C. Mattoso ³

¹ Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, 13560-905, São Carlos, SP

² Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, 87020-900, Maringá, PR

³ Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio, Embrapa Instrumentação Agropecuária, 13560-970, São Carlos, SP

* Rua XV de Novembro, 1452 – CEP: 13560-970, São Carlos, SP – fauze@cnpdia.embrapa.br

Resumo: Neste trabalho foi investigado o efeito das concentrações de acrilamida (AAM), metilcelulose (MC), pH e força iônica nas propriedades cinéticas (expoente e coeficiente de difusão), e hidrofílicas (grau de intumescimento) dos hidrogéis compostos por poliacrilamida (PAAm) e metilcelulose. As propriedades estudadas foram obtidas a partir de curvas cinéticas de grau de intumescimento com temperatura controlada. Os resultados demonstraram forte co-relação entre as propriedades. Foi observado também que as mesmas são fortemente dependentes dos fatores analisados (concentrações de AAM e MC, hidrofílicidade, força iônica e pH do meio de intumescimento). Devido à alta hidrofílicidade, rápida absorção de água, controle das propriedades cinéticas e hidrofílicas, PAAm-MC hidrogéis são materiais extremamente promissores para serem aplicados em diferentes campos na agricultura, destacando a liberação controlada de água e/ou pesticidas de âmbito geral.

Palavras-chave: hidrogéis, propriedade hidrofílica, propriedade cinética.

INTRODUÇÃO

Celulose é o mais abundante, renovável e biodegradável polissacarídeo encontrado na natureza. Mesmo tratando-se de um polímero hidrofílico, a celulose é insolúvel em água devido ao denso arranjo de suas cadeias. Tal empacotamento se deve às fortes interações intramoleculares que ocorrem por meio de ligações de hidrogênio. A partir de um simples tratamento alcalino, com solução de hidróxido de sódio seguido de uma reação com cloreto de metila ⁽¹⁾, pode-se substituir uma fração de grupamentos hidroxilas por grupamentos metilas. Essa substituição diminui as interações intramoleculares e o empacotamento das cadeias. O principal produto desse tratamento é a metilcelulose (MC). Os grupamentos metilas presentes na estrutura da MC

dificultam um arranjo mais ordenado das cadeias, provocando mudanças significativas nas propriedades físico-químicas em relação à celulose. Por exemplo, a metilcelulose apresenta grande solubilidade em água, enquanto que a celulose é insolúvel em água devido à sua cristalinidade.

Hidrogéis podem ser definidos como sistemas hidrofílicos formados por dois ou mais componentes unidos por ligações covalentes e/ou eletrostáticas dispostos em uma ou mais redes tridimensionalmente estruturadas^(2,3) envoltas por moléculas de um determinado solvente, geralmente água. A quantidade de água adsorvida pelos hidrogéis geralmente está relacionada com a hidrofiliidade das cadeias e a densidade de agente de reticulação utilizada na síntese.

O controle dos fatores tais como densidade de cadeias poliméricas, quantidade de agente de reticulação e balanço hidrofílico-hidrofóbico possibilitam a obtenção de matrizes com propriedades mecânicas⁽⁴⁾ e estruturais⁽⁵⁾ ajustadas para um grau de intumescimento adequado para uma determinada aplicação^(6,7).

O entendimento do efeito de ambientes externos [pH e força iônica] nas propriedades cinéticas e hidrofílicas dos hidrogéis e também a relação destes aspectos com as concentrações de acrilamida e de metilcelulose na solução formadora dos hidrogéis motivaram o desenvolvimento deste trabalho. Foram avaliados parâmetros da cinética de intumescimento [expoente difusional (n), constante de difusão (k) e coeficiente de difusão (D)], obtidos a partir de curvas de grau de intumescimento em função do tempo. Para isso, foram preparados hidrogéis com diferentes teores de acrilamida (AAm) e metilcelulose (MC), os quais foram investigados em diferentes meios de intumescimento (pH e força iônica). Os resultados permitiram fazer importantes correlações entre a cinética de intumescimento com a estrutura e a hidrofiliidade dos hidrogéis.

MATERIAIS E MÉTODOS

SÍNTESE DOS HIDROGÉIS

Os hidrogéis constituídos de poliacrilamida (PAAm) e do polissacarídeo biodegradável metilcelulose foram obtidos por meio de polimerização química do monômero acrilamida (AAm) com concentrações de 3,6; 7,2; 14,7 e 21,7 %

m/v em solução aquosa contendo MC com concentrações de 0,5 e 1,0 % m/v e do agente de reticulação N'-N-metilenobisacrilamida (MBAAm) à 8,55 $\mu\text{mol mL}^{-1}$. A concentração de N,N,N',N'- tetrametil-etilenodiamina (TEMED), utilizado como catalisador, foi mantida constante em 3,21 $\mu\text{mol mL}^{-1}$. Persulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) (3,38 $\mu\text{mol mL}^{-1}$) foi adicionado com intuito de iniciar a reação de polimerização que ocorre via radical livre.

CINÉTICA DE INTUMESCIMENTO

As propriedades hidrofílicas dos hidrogéis foram estudadas por medidas de grau de intumescimento (Q) em função do tempo em diferentes meios de intumescimento. Os estudos de intumescimento foram realizados em soluções com diferentes pHs [4,0, 7,0 ou 10,0] ou em pH 7,0 mas com força iônica variável [0,025; 0,10 e 0,20 mol L^{-1}]. As soluções foram preparadas de acordo com procedimento descrito por Morita e Assumpção ⁽⁸⁾. A influência da força iônica no intumescimento dos géis foi avaliada em pH 7,0. A força iônica no meio de intumescimento foi ajustada utilizando NaCl nas concentrações de 0,025; 0,10 e 0,20 mol L^{-1} .

Os valores de Q dos diferentes hidrogéis foram calculados a partir da relação abaixo ⁽⁹⁾:

$$Q\% = \frac{M_t - M_0}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

onde M_t é a massa do hidrogel intumescido em um tempo t e M_0 é a massa desse mesmo hidrogel, após secagem.

PARÂMETROS DA CINÉTICA DE INTUMESCIMENTO

Alguns parâmetros da cinética de intumescimento foram obtidos por meio de medidas de grau de intumescimento em função do tempo (F vs t) em soluções de diferentes valores de pHs: 4,0; 7,0 e 10,0. Para cada curva de F vs t, o expoente difusional (n) e constante de difusão (k) foram calculados utilizando a Equação 2 ⁽¹⁰⁾:

$$F = \frac{M_t}{M_{eq}} = kt^n \quad (2)$$

onde M_{eq} é a massa do hidrogel no equilíbrio de intumescimento, t é o tempo. k é conhecida como constante de difusão e depende do tipo do hidrogel e do meio de intumescimento.

O estudo de difusão do solvente para o interior dos hidrogéis foi realizado através das análises dos valores do coeficiente de difusão D . Os valores de D foram obtidos através da Equação 3 ⁽¹¹⁾:

$$D = \pi r^2 \left(\frac{k}{4} \right)^{1/n} \quad (3)$$

onde D é dado em $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$, r é o raio do hidrogel seco (dado em centímetros). Para cada corrida, o valor de r foi medido antes de se iniciarem os experimentos. Os valores de n e k foram obtidos utilizando a Equação 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de grau de intumescimento no estado de equilíbrio (Q_{eq}) obtidos a partir de curvas de cinética de intumescimento (Q vs t) para hidrogéis com diferentes teores de AAm e MC estão listados na Tabela 1 onde também são apresentados os valores de n , k e D .

Tabela 1: Parâmetros obtidos de cinética de intumescimento dos diferentes hidrogéis em soluções com diferentes valores de pH: 4,0, 7,0 e 10,0, a 25 °C.

pH = 4,0					
	Q_{eq} (%)	n	D ($10^{-5} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)	k (s^{-1})	R^2
3,6 % AAm e 0,5 % MC	3900	0,44 *	4,46 *	0,315 *	0,9839 *
7,2 % AAm e 0,5 % MC	2000	0,42	1,73	0,169	0,9996
14,7 % AAm e 0,5 % MC	1300	0,39	1,20	0,137	0,9969
21,7 % AAm e 0,5 % MC	1200	0,38	1,92	0,215	0,9931
<hr/>					
3,6 % AAm e 1,0 % MC	3200	0,52	2,78	0,092	0,9989
7,2 % AAm e 1,0 % MC	2000	0,45	2,79	0,106	0,9984
14,7 % AAm e 1,0 % MC	1400	0,40	2,60	0,159	0,9989
21,7 % AAm e 1,0 % MC	1100	0,36	0,86	0,147	0,9971

pH = 7,0					
	Q _{eq} (%)	n	D (10 ⁻⁵ cm ² s ⁻¹)	k (s ⁻¹)	R ²
3,6 % AAm e 0,5 % MC	6400	0,60 *	53,30 *	0,616 *	0,9681 *
7,2 % AAm e 0,5 % MC	2700	0,53	1,38	0,063	0,9995
14,7 % AAm e 0,5 % MC	1700	0,45	2,32	0,104	0,9994
21,7 % AAm e 0,5 % MC	1300	0,41	1,73	0,132	0,9994
pH = 10,0					
	Q _{eq} (%)	n	D (10 ⁻⁵ cm ² s ⁻¹)	k (s ⁻¹)	R ²
3,6 % AAm e 0,5 % MC	5450	0,36 *	12,60 *	0,905 *	0,9958 *
7,2 % AAm e 0,5 % MC	2530	0,44	2,91	0,156	0,9986
14,7 % AAm e 0,5 % MC	1680	0,38	2,90	0,192	0,9981
21,7 % AAm e 0,5 % MC	1340	0,38	0,60	0,165	0,9981
3,6 % AAm e 1,0 % MC	6110	0,55	0,77	0,063	0,9954
7,2 % AAm e 1,0 % MC	2620	0,45	2,60	0,110	0,9971
14,7 % AAm e 1,0 % MC	1550	0,39	2,53	0,135	0,9959
21,7 % AAm e 1,0 % MC	1220	0,37	0,83	0,127	0,9963

* os valores dos parâmetros podem não condizer com os valores reais, pois R² < 0,99.

Na Figura 1 é apresentada a dependência do grau de intumescimento com o tempo de imersão para três diferentes hidrogéis em pH 7,0, a 25 °C. Para cada curva de Q vs t o valor de Q_{eq} foi coletado no tempo de imersão a partir do qual não se observou variação da massa do hidrogel por um período mínimo de 24 horas. Pode-se observar que os hidrogéis atingem equilíbrio em aproximadamente 10 horas. As curvas de Q vs t apresentam dois comportamentos distintos característicos de hidrogéis: no início o processo de intumescimento ocorre rapidamente. Mas o intumescimento passa a ser mais lento em um tempo de imersão próximo de atingir o equilíbrio. O hidrogel constituído por 3,6 % de AAm e 1,0 % de MC apresenta valor Q de 2000 % em apenas 1 hora após ser imerso em solução de pH 7,0 e após 10 horas de imersão nesta mesma solução o valor de Q é 9200 %.

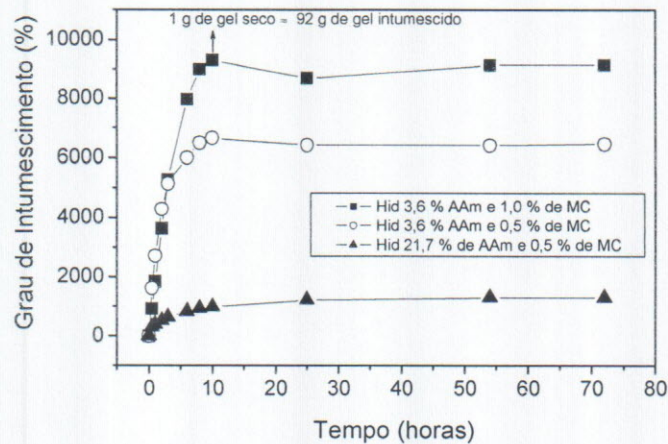


Figura 1: Curvas de Q vs t para os hidrogéis sintetizados em solução com as concentrações indicadas de AAm e de MC. As medidas foram realizadas a 25 °C, pH = 7,0.

Os valores de Q_{eq} dos hidrogéis diferem significativamente quando se varia o tipo de hidrogel. Foi verificado que os valores de Q_{eq} são fortemente influenciados tanto pela concentração de AAm quanto pela concentração de MC da solução em que o hidrogel foi obtido. Ao comparar, por exemplo, hidrogéis sintetizados com solução de mesma concentração de AAm (3,6 %), observa-se que o valor de Q_{eq} aumenta de 6400 % para 9200 %, quando a concentração de MC é variada de 0,5 para 1,0 %. Isto indica um aumento na hidrofiliabilidade com o teor de MC no hidrogel. Isto pode ser atribuído ao aumento da quantidade de grupamentos hidroxilas provenientes das cadeias de metilcelulose. Por outro lado, observa-se uma diminuição bastante significativa no valor de Q_{eq} [de 3200 % para 1200 % (pH 4,0); de 6400 % para 1300 % (pH 7,0) e de 5450 % para 1340 % (pH 10,0)] quando a concentração de AAm na solução formadora do hidrogel passa de 3,6 para 21,7 %, mantendo a concentração de MC constante em 0,5 %. Isto indica que cadeias de MC são mais hidrofílicas que as cadeias de poli(acrilamida).

Os parâmetros associados à cinética de intumescimento são de extrema importância no entendimento mecânico do processo de difusão da água para o interior dos hidrogéis. A partir das curvas de F vs t obtidas para hidrogéis com diferentes teores de AAm e MC e em diferentes meios de intumescimento (diferentes pHs) foi possível obter, para cada curva, os valores de n e de k

(equação 2) e do coeficiente de difusão (D) (equação 3). Determinações dos valores de n , de k e de D e a correlação destes com os respectivos valores de Q_{eq} são discutidas detalhadamente a seguir.

Para hidrogéis em formato cilíndrico, valores de n entre 0,45 e 0,50 correspondem à difusão *Fickiana*. Um valor de $n \approx 1,0$ indica que a difusão do solvente para o interior do hidrogel ocorre por relaxamento das cadeias que compõem a rede. Em adição, para $0,5 < n < 1,0$ a difusão ocorre por transporte anômalo, governado, ao mesmo tempo, por difusão e pela relaxação das cadeias do hidrogel ⁽¹²⁾.

Na Figura 2 é mostrada a curva de $\ln F$ vs $\ln t$ em pH 7,0 utilizada para obtenções do expoente difusional (n), constante de difusão (k), e coeficiente de difusão (D) (utilizando a Equação 3), para o hidrogel preparado a partir de solução contendo 21,7 % de AAm e 1,0 % de MC.

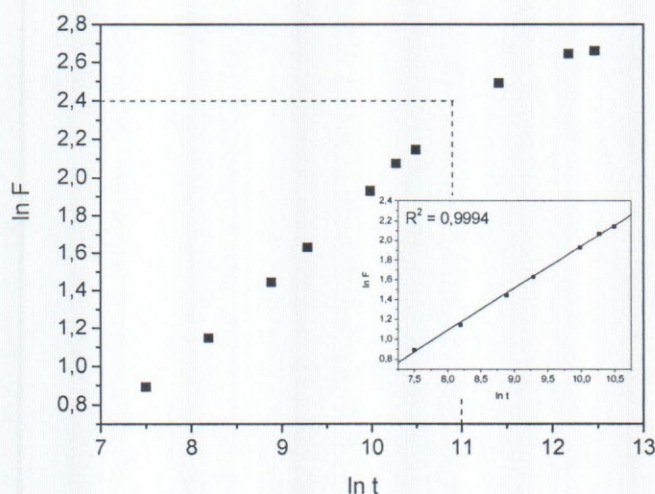


Figura 2: Curva de $\ln F$ vs $\ln(t)$ a partir da qual foram obtidos os valores do expoente difusional (n) e constante de difusão (k) em pH 7,0 para o hidrogel sintetizado a partir de solução com 21,7 % de AAm e 1,0 % de MC.

Curvas similares à apresentada na Figura 2 foram obtidas para intumescimento deste hidrogel em pH 4,0 e 10,0. Da mesma forma, curvas análogas foram obtidas para os demais hidrogéis nos três diferentes meios de intumescimento.

Analisando os parâmetros cinéticos mostrados na Tabela 1, pode-se notar para hidrogéis com um teor fixado de MC que o aumento da concentração de

AAM na solução formadora do hidrogel provoca diminuição significativa dos valores de n . Por outro lado, quando se fixa a concentração de AAm, os hidrogéis contendo maiores teores de MC apresentam maiores valores de n . Assim, pode-se inferir que o parâmetro n é diretamente proporcional ao grau de intumescimento dos hidrogéis. Maiores valores de n são observados para hidrogéis com os mais altos valores de F_{eq} , i.e., os hidrogéis sintetizados a partir de solução contendo 3,6 % em AAm e 0,5 ou 1,0 % em MC.

Os valores do coeficiente de difusão D seguem a mesma tendência dos valores de n . Por exemplo, se compararmos os diferentes hidrogéis com 0,5 % de MC intumescidos em pH = 7,0, observa-se que o valor de D dos hidrogéis sintetizados com solução 3,6 % em AAm ($D = 53,30 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) é em torno de 31 vezes maior que para os hidrogéis sintetizados com 21,7 % em AAm ($D = 1,73 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$). Nos hidrogéis com 1,0 % de MC os valores de D variam 8 vezes [de $23,30 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (3,6 % em AAm) para $2,75 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (21,7 % em AAm)]. De maneira geral, a difusão do solvente para o interior dos hidrogéis com 1,0 % de MC é mais rápida que nos hidrogéis com 0,5 % de MC devido à maior quantidade de grupamentos hidroxilas existentes nas cadeias de MC. Alguns dos valores de D obtidos para pH = 7,0 são menores que o valor de D_{H_2O} a 25 °C ($= 2,03 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$). É importante ressaltar que ao passarem por sucessivos processos de intumescimento/secagem esses hidrogéis não perdem sua forma e nem sua estabilidade, apesar de o hidrogel intumescido ser constituído por aproximadamente 90-95 % de água. Assim, quando o hidrogel é colocado em contato com o meio de intumescimento, suas cadeias são rapidamente solvatadas formando uma primeira camada constituída por moléculas de água. Dessa forma, as moléculas de água no interior do hidrogel terão valores de energia e entropia diferenciados de acordo com a posição que se encontrar. Isto explica os baixos valores de D observados para o intumescimento dos hidrogéis. No entanto, os hidrogéis sintetizados com 3,6 % de AAm e 0,5 % de MC ($n = 0,60$); 3,6 % de AAm e 1,0 % de MC ($n = 0,78$); e 7,2 % de AAm e 1,0 % de MC ($n = 0,60$) apresentaram valores de $D \gg D_{H_2O}$. Esse comportamento pode estar relacionado com o tipo de transporte apresentado por esses hidrogéis (transporte anômalo, difusão não exclusivamente *Fickiana*). Assim, o intumescimento nestes hidrogéis

depende da relaxação da cadeia polimérica o que aumenta significativamente o valor do coeficiente de difusão.

Se analisarmos os valores de D e de n para um mesmo tipo de hidrogel, porém em diferentes meios de intumescimento nota-se que, de maneira geral, em pH 4,0 e/ou pH 10,0 os valores são menores do que os obtidos em pH = 7,0. Isto pode estar relacionado a dois aspectos principais: i) presença de sais no meio de intumescimento; e ii) ionização dos grupos hidroxilas presentes na MC. Ambos os fatores contribuem significativamente na mudança da pressão osmótica do meio de intumescimento o que, por sua vez, afeta tanto os valores de D quanto os valores de n . Foi verificado que este efeito é mais pronunciado em hidrogéis sintetizados a partir de solução com baixa concentração de AAm (3,6 %) devido à alta elasticidade das redes tridimensionais dos hidrogéis.

Não foi observada nenhuma tendência pronunciada da constante de difusão (k) com as concentrações de AAm e de MC. De maneira geral, o aumento da concentração de metilcelulose provoca diminuição do valor de k . No entanto, os resultados de D mostraram comportamento antagônico. É importante ressaltar que o cálculo de D é realizado com base nos valores de n e k (Equação 3), enquanto que k é obtido diretamente pelo coeficiente linear de $\ln F$ vs $\ln t$ (Equação 2), sem levar em consideração o tipo de mecanismo de difusão, representado por n , mostrando que o estudo da difusão da água ocorrido através do processo de intumescimento desses hidrogéis é melhor representado matematicamente se for analisada através do parâmetro D .

Nas Figuras 3a-c são mostradas as dependências dos valores do expoente difusional (n) obtidos para os três diferentes meios de intumescimento com a concentração de AAm usada para a síntese dos diferentes hidrogéis de PAAm/MC. Nessas figuras são sinalizadas as regiões onde ocorrem os diferentes mecanismos de difusão (*Fickiana* e transporte anômalo).

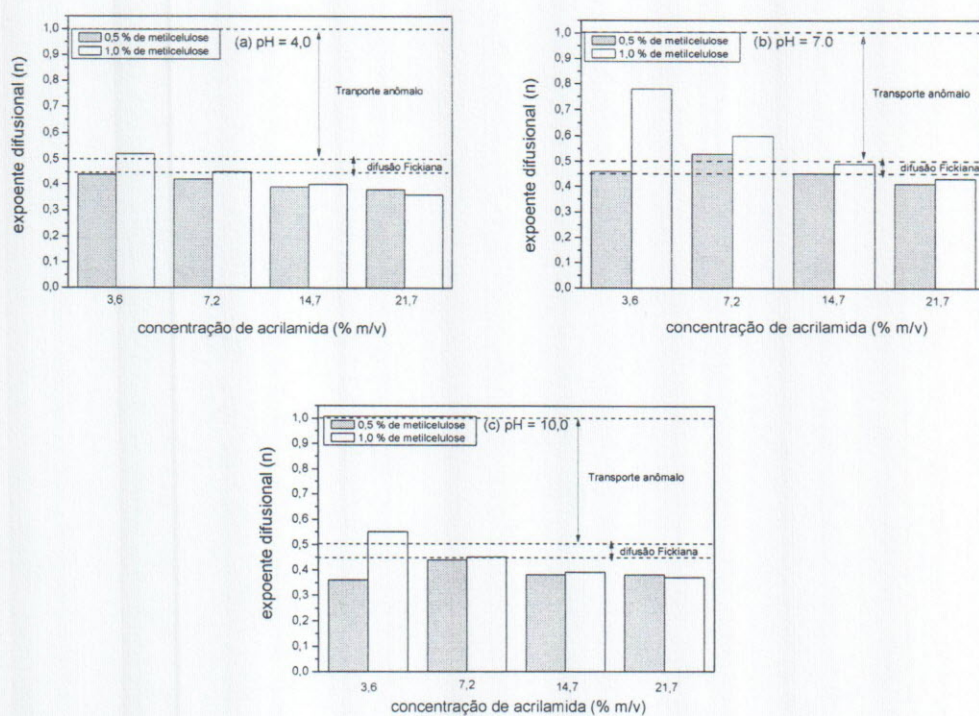


Figura 3: Dependência do expoente difusional (n) com a concentração de AAm usada para preparar os hidrogéis intumescido em diferentes condições a 25 °C: a) pH = 4,0; b) pH = 7,0 e c) pH = 10,0.

Em todos os meios de intumescimentos investigados foi possível observar que os valores de n diminuem com o aumento da concentração de AAm. Ainda, em ambientes de intumescimentos iônicos e em altas concentrações de PAAm (independente do pH) a difusão segue o modelo *Fickiano*. Já em baixas concentrações de PAAm, o mecanismo que melhor representa o processo difusional do solvente é o de transporte anômalo.

CONCLUSÕES

Foi possível obter, com sucesso, hidrogéis a partir da polimerização do monômero acrilamida (AAm), sendo a reticulação feita pela concomitante copolimerização do N,N'-metilenobisacrilamida (MBAAm). Como o processo de gelificação ocorreu na presença do polissacarídeo biodegradável metilcelulose (MC), houve efetiva incorporação de MC na rede de PAAm dos hidrogéis. Os valores de grau de intumescimento, Q_{eq} variaram entre 1100-9200 %. Este

parâmetro é fortemente dependente dos fatores: concentrações de AAm e de MC da solução onde o hidrogel foi preparado e do pH do meio de intumescimento. Ainda, o fato da incorporação de MC deixar a matriz polimérica mais hidrofílica amplia o campo de aplicação dos hidrogéis de PAAm/MC. O transporte do solvente para o interior do hidrogel é fortemente influenciado pelas concentrações de AAm e MC usadas na síntese do hidrogel. Tanto n , quanto D são diretamente proporcionais ao grau de intumescimento dos hidrogéis. Devido à alta hidrofílicidade dos hidrogéis sintetizados e caracterizados nesse trabalho, o que permite rápida absorção de água, estes materiais podem ser considerados como extremamente promissores para serem aplicados em diferentes campos na agricultura, destacando a liberação controlada de água e/ou pesticidas de âmbito geral.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de doutorado e produtividade em pesquisa, Embrapa (Programa Labex e Projeto MP1), FINEP/LNNA pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Ott, E. High polymers – cellulose and cellulose derivatives. New York: Interscience Publishers Inc.; 1943.
2. Benamer, S.; Mahlous, M.; Boukrif, A.; Mansouri, B.; Larbi Youcef, S.; Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 2006, 248, 284.
3. Rosiak, J. M.; Ulanski, P.; Radiat. Phys. Chem. 1999, 55, 139.
4. Jeon, O.; Song, S. J.; Lee, K. -J.; Park, M. H.; Lee, S. H.; Hahn, S. K.; Kim, S. K.; Kim, B. -S.; Carbohydr. Polym. 2007, 70, 251.
5. Emileh, A.; Vasheghani-Farahani, E.; Imani, M.; Eur. Polym. J. 2007, 43, 1986.
6. Abd Alla, S. G.; El-Din, H. M. N.; El-Naggar, A. W. M.; Eur. Polym. J. 2007, 43, 2987.
7. Unal, B.; Hedden, R. C.; Polymer 2006, 47, 8173.
8. Morita, T., Assumpção, R.M.V., Manual de Soluções, Reagentes e Solventes. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2001.
9. Spinks, G. M.; Lee, C. K.; Wallace, G. G.; Kim, S. I.; Kim, S. J.; Langmuir 2006, 22, 9375.
10. Reddy, T. T.; Lavenant, L.; Lefebvre, J.; Renard, D.; Biomacromolecules 2006, 7, 323.
11. Kundakci, S.; Uzum, O. B.; Karadag, E.; React. Funct. Polym. 2008, 68, 458.
12. Serra, L.; Doménech, J.; Peppas, N. A.; Biomaterials 2006, 27, 5440.

STUDY OF KINETICS PROPERTIES OBTAINED OF POLYACRYLAMIDE AND METHYLCELLULOSE HYDROGELS

Abstract: *In this paper, the effects of acrylamide (AAm), methylcellulose (MC) contents, pH and ionic strength on kinetics (diffusional exponent, and diffusion coefficient), and hydrophilic (swelling degree) properties of polyacrylamide and methylcellulose hydrogels were investigated. The properties were obtained from swelling degree curves with controlled temperature. Results showed that the properties were controlled by adjusting of the AAm, MC contents, pH and ionic strength factors. Due to high hydrophilicity and fast water-uptake, the PAAm-MC hydrogels can be considered as materials for potential applications in agricultural fields, mainly in controlled release of water or pesticides.*

Key-words: hydrogels, hydrophilic property, kinetic property.