

## Fotodegradação de hidrogel de poliacrilamida na presença de substâncias químicas para o uso na agricultura

### Photodegradation of polyacrylamide hydrogel in the presence of chemical substances for use in agriculture

Jéssica Soares Freitas <sup>1</sup>, Luiz Fernando Coutinho de Oliveira <sup>1</sup>,  
Estephane Cristina de Faria Abreu <sup>2</sup>, Antônio Ewerton da Silva Almeida <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras (UFLA), Programa de Pós Graduação Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas/PPGRH/DEG/UFLA CP: 3037 – 372000-000, Lavras, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Lavras (UFLA), FAPEMIG/DEG/UFLA CP: 3037 – 372000-000, Lavras, MG, Brasil.  
e-mail: jessicasfreitas09@gmail.com, coutinho@deg.ufla.br, estepfaria@gmail.com, ewerton-almeida@hotmail.com

---

#### RESUMO

Utilizado na agricultura como condicionante do solo, a poliacrilamida, constituinte básico do hidrogel, tem a característica de absorver, por processo físico, água e a estocar para as plantas conforme sua necessidade hídrica. Entretanto, a poliacrilamida sofre degradação de sua cadeia, devido à ação da radiação ultravioleta e de sais presentes no meio, ocasionando a liberação de acrilamida, substância tóxica e não biodegradável. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a fotodegradação da poliacrilamida e o efeito de algumas substâncias químicas presentes no solo na degradação desse polímero. Para tanto foi feito o estudo da fotodegradação do hidrogel empregando a técnica Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) de forma a comprovar o grau de degradação do polímero. Avaliou-se também a retenção de água de um Latossolo Vermelho Escuro Distroférrico com presença do gel empregando-se para tal, o método da centrífuga. Os resultados comprovaram que depois de degradada a poliacrilamida teve perda do grupamento amida, indicativo da quebra de cadeia em acrilamida. Além do mais o polímero perdeu suas características de retenção de água, com a modificação das suas redes poliméricas e aspecto de gel.

**Palavras-chave:** curva característica, degradação, polímero hidrorretentor, radiação UV.

---

#### ABSTRACT

Used in agriculture as a soil conditioner because the polyacrylamide basic constituent of the hydrogel has the characteristic of absorbing water by physical process and also stock for the plants according to their water requirements. However, the hydrogel has endured its chain degradation because of UV radiation and salts present in the soil causing the release of residues and toxic substances and non-biodegradable substance. This study aimed to evaluate the photodegradation of polyacrylamide and the effect of some chemical substances present in the soil in the degradation of this polymer. For the evaluation of photodegradation of polyacrylamide was performed by Fourier transform infrared spectrometry (FTIR) to demonstrate the degree of polymer degradation. It was also evaluated the water retention in soil with of the gel by the centrifuge method. The results showed that after degraded polyacrylamide decrease in the amide grouping being indicative of polyacrylamide chain breaking acrylamide. Moreover the polymer lost its water retention characteristics, with the modification of its polymeric nets and gel appearance.

**Keywords:** characteristic curves, degradation, hidrorretentive polymer, UV radiation.

---

#### 1. INTRODUÇÃO

Apesar do grande consumo de água na agricultura, algumas tecnologias vêm proporcionando melhorias com relação às respostas das culturas em regiões que apresentam um maior déficit hídrico [1]. Como forma de

abrandar o problema da escassez, tem-se feito uso de uma classe de materiais poliméricos denominados hidrogéis. Segundo AZEVEDO *et al.* [2], o hidrogel é um material constituído por redes poliméricas hidrofílicas, capaz de absorver e reter grande quantidade de água sem perder sua forma tridimensional. Quando o hidrogel de poliacrilamida é hidratado e adicionado ao solo, principalmente na rizosfera, libera água aos poucos, aumentando a disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas, atuando ainda como condicionador de solo [3,4].

Entretanto, apesar das propriedades promissoras que os polímeros hidrorretentores apresentam, quando adicionados ao solo, podem ser degradados devido à presença de microrganismos, altas temperaturas, efeito do pH, radiação ultravioleta, e, principalmente, os sais provenientes de adubações e calagem [5,6]. Os subprodutos originados de sua degradação podem ser prejudiciais à saúde dos seres vivos e ao plantio, pois podem vir a liberar a acrilamida, um provável carcinogênico ao humano em todos os tipos de vias [7].

Desta maneira, no cenário agrícola, fica claro que com a degradação de poliacrilamida, o produto resultante, a acrilamida, cria um potencial perigoso para o ambiente e para saúde, uma vez que pode ocasionar contaminação de águas superficiais ou subterrâneas.

Segundo LOPES *et al.* [8] a degradação do polímero é potencializada pelo nível de fertilidade do solo em função da concentração de sais contidos nos solos. Tais sais podem ser resultado também de fertilizantes normalmente empregados no solo, incluindo a uréia e NPK (nitrogênio, fósforo e potássio).

Portanto, objetivou-se neste trabalho analisar a influência de diferentes íons e substâncias químicas na fotodegradação do polímero poliacrilamida utilizado para potencializar a retenção de água no solo e, com isso, criar um modelo de fotodegradação do polímero.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foi utilizado material de solo de uma área experimental localizada no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) atualmente cultivado com café cv. Topázio MG 1190. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro Distroférico de textura argilosa [9]. A área experimental está situada a 910 m de altitude, nas coordenadas 21° 14' 06" de latitude Sul e 45° de longitude Oeste. As amostragens do solo foram realizadas nas entre linhas do plantio dos cafeeiros de forma casualizada e coletadas amostras compostas deformadas, nas camadas de 0-20 cm e de 20-40 cm, que em seguida foram misturadas, secas ao ar (TFSA), destorroadas e passadas em peneiras de 2,0 mm.

Com a finalidade de se avaliar a degradação do hidrogel por substâncias químicas pela ação da radiação UV, inicialmente fez-se a caracterização química do material de solo coletado, na qual foi observada a predominância de:  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$  e Ureia, provavelmente em função das adubações correntes do cafeeiro e à classe de solo característica. Espera-se que essas substâncias sejam responsáveis por influenciar na aceleração do processo de degradação do polímero.

Para quantificar a degradação do hidrogel pela presença dos íons, pela Ureia e luz UV foi realizado um ensaio de em uma caixa de fotodegradação construída com madeira, toda revestida interiormente por um material de alumínio, com ventilação e exaustão adequadas por coolers de computador. As dimensões da câmara foram de 1,20 m de comprimento, 0,60 m de largura e 0,45 m de altura. Internamente foram instaladas duas lâmpadas UVA (comprimento de onda 320 a 400 nm) e uma lâmpada branca (fluorescente), ambas de 600 mm, na parte superior para simular a iluminação emitida pelo sol. Para monitorar a temperatura de dentro da caixa foi utilizado um termo higrômetro de precisão com intuito de não permitir que a amostra sofresse degradação térmica.

O hidrogel utilizado neste estudo, fornecido por um fabricante de polímeros para agricultura denominado de copolímero de Acrilamida e Acrilato de Potássio que chega a absorver 300 g de água deionizada com apenas 1,0 g do hidrogel. As amostras de hidrogel foram preparadas em beakers de 250 mL, sendo a mistura do gel/solução para cada amostra obtida empregando 2,0 g de poliacrilamida seca em adição de 50 mL de solução. As soluções foram preparadas com concentrações semelhantes às concentrações desses componentes no solo em questão, de forma a se aproximar do que é observado em situações reais. Desse modo, os íons Cálcio, Fosfato, Potássio, Ferro e Alumínio foram previamente preparados pelos sais Cloreto de Cálcio, Fosfato de Potássio Monobásico, Cloreto de Potássio, Cloreto de Ferro III e Alúmen de Potássio, respectivamente além do preparo de solução de Ureia. Todas as amostras dos 5 íons tratados, da ureia mais um controle (apenas o hidrogel mais água deionizada) foram feitas em triplicatas e tampadas com filme plástico de modo a não ter perda de material após sua degradação, além de se evitar que a água evapore e danifique a parte elétrica da caixa. Em seguida, as amostras foram colocadas na caixa de fotodegradação num período de 2 dias com exposição à luz UV diretamente e sem interrupção, no que consistiu apenas em um modelo de fotodegradação e não o que ocorre realmente em campo. Neste período identificou-se pelo termohigrômetro uma

temperatura variando de 21,5 a 34,1 °C, e umidade entre 65 a 67%.

## 2.1 Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR)

Para caracterizar a degradação do hidrogel utilizou-se a técnica espectroscopia de absorção do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), permitindo investigar a composição química do polímero degradado. Os hidrogéis intumescidos (em equilíbrio) foram congelados a -80 °C e posteriormente liofilizados. Após a liofilização, os hidrogéis estavam prontos para a análise no espectrômetro. Os espectros na região do infravermelho (IV) para a poliacrilamida foram obtidos em espectrômetro Varian FT-IR 660-IR, equipado com acessório Pike GladiATR. Os espectros de absorção foram analisados na faixa de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>, com resolução de 2 cm<sup>-1</sup> [10] com número de 128 scans. Além das amostras degradadas de mistura gel/solução foram também realizadas análise da mistura gel/solução não degradada para fins comparativos.

## 2.2 Curva de retenção de água (CRA) no solo com hidrogel

A curva de retenção de água (CRA) tem sido utilizada como referência para os estudos da dinâmica da água no solo [11]. O modelo de ajuste proposto pelo mesmo autor foi adotado e permite relacionar, com alto poder de predição, a energia de retenção e disponibilidade hídrica [12]:

$$U = U_R + (U_S - U_R) \left[ \frac{1}{1 + (\alpha \cdot \Psi_m)^n} \right]^m \quad (1)$$

A Eq. 1 é caracterizada por apresentar os conteúdos de água no solo correspondentes à saturação ( $U_S$ ) e ao conteúdo residual ( $U_R$ ), e um ponto de inflexão entre os platôs, o qual depende dos atributos do solo, sendo a sua forma e inclinação reguladas por parâmetros empíricos de ajuste do modelo ( $\alpha$ ,  $n$  e  $m$ ). Desta forma, foram ajustados modelos para estimar os parâmetros da equação de Van Genuchten. A análise da precisão do modelo foi feita considerando-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

A determinação da curva de retenção de água no solo foi feita a partir do método da centrífuga proposto por FREITAS JÚNIOR E SILVA [13]. O método da centrífuga utilizado para obter as propriedades hidráulicas de solos consiste em fazer ensaios de amostras de solo saturadas, submetidas a movimento circular que promove drenagem mais rápida do fluido contido nos poros do [14]. COSTA [15] estudando modelos de CRA observou que este método possibilitou melhor ajuste em relação ao método do WP4, no qual subestimou os dados obtidos pela centrífuga.

Neste ensaio foram realizadas a obtenção da retenção do solo, considerando: CRA apenas do solo, solo com hidrogel não degradado e solo com hidrogel degradado em solução das duas substâncias que mais influenciaram no processo de degradação. Para tal, foram utilizados 4 tubos de Falcon de 50 mL e 2,75 cm de diâmetro e com pequenos furos na parte inferior, de forma com que a água pudesse ser retirada com a rotação da centrífuga. Para evitar perda de solo foi colado um filtro de flanela de tecido Morim na região dos furos e o conjunto pesado. Na sequência, foram adicionados 50 g de solo em cada tubo. As amostras com hidrogel foram misturadas ao solo, sendo usadas na proporção utilizada pelos agricultores: 0,38 g de solução de hidrogel com adição das concentrações das substâncias químicas para amostras de solo de 50 g (referente à quantidade de hidrogel aplicada em cada cova do plantio da muda).

Previamente as amostras de solos foram saturadas e adicionadas na centrífuga com aproximadamente 0,50 g de algodão na base inserida no suporte da centrífuga, para absorver a água retida do tubo e, posteriormente foram aplicadas rotações de 300, 500, 800, 1100, 1300, 1500, 1700, 1900, 2200, 2500 e 2800 rpm que equivalem as tensões de retenção de 10,07; 27,99; 71,66; 135,49; 189,23; 251,94; 323,59; 404,22; 541,94; 699,82 e 877,85 cm, respectivamente. Com centrifugação de 30 minutos para cada rotação determinou-se, por meio de pesagens sucessivas, o conteúdo de umidade remanescente nas amostras de solo. Em todo o processo foi descontado o peso do tubo e do filtro para a determinação da umidade na amostra.

A sucção a cada estágio de rotação foi calculada pela Eq. 2 e a umidade gravimétrica obtida pela pesagem do corpo de prova.

$$h_{\psi} = \frac{1}{6} \omega^2 g^{-1} L(3r_e - L) \quad (2)$$

Sendo:

$h_{\Psi}$  – carga de sucção na amostra de solo (cm);

$r_e$  – raio externo da amostra de solo na centrífuga (cm);

$L$  – comprimento da amostra ao longo do eixo da centrífuga ( $r_e - r_i$ ) (cm);

$g$  – aceleração da gravidade ( $981 \text{ cm s}^{-2}$ );

$\omega$  – velocidade angular ( $\text{rad s}^{-2}$ ).

Ao final, a amostra foi totalmente retirada e seca em estufa a  $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 h para a determinação de sua massa seca. Desse modo, a umidade gravimétrica foi obtida pela razão da diferença entre a massa da amostra úmida e seca pela massa da amostra seca.

A montagem e execução do ensaio de fotodegradação e degradação da poliacrilamida por íons e a Uréia presentes no solo foram realizadas nos Laboratórios de Engenharia Ambiental e Sanitária e de Engenharia de Materiais pertencentes ao Departamento de Engenharia da UFLA. As caracterizações da degradação e retenção de água da poliacrilamida foram realizadas no Laboratório de Química da UFLA, Laboratório de Águas Residuárias e Reúso de Água da UFLA e EMBRAPA CNPAT (Fortaleza).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

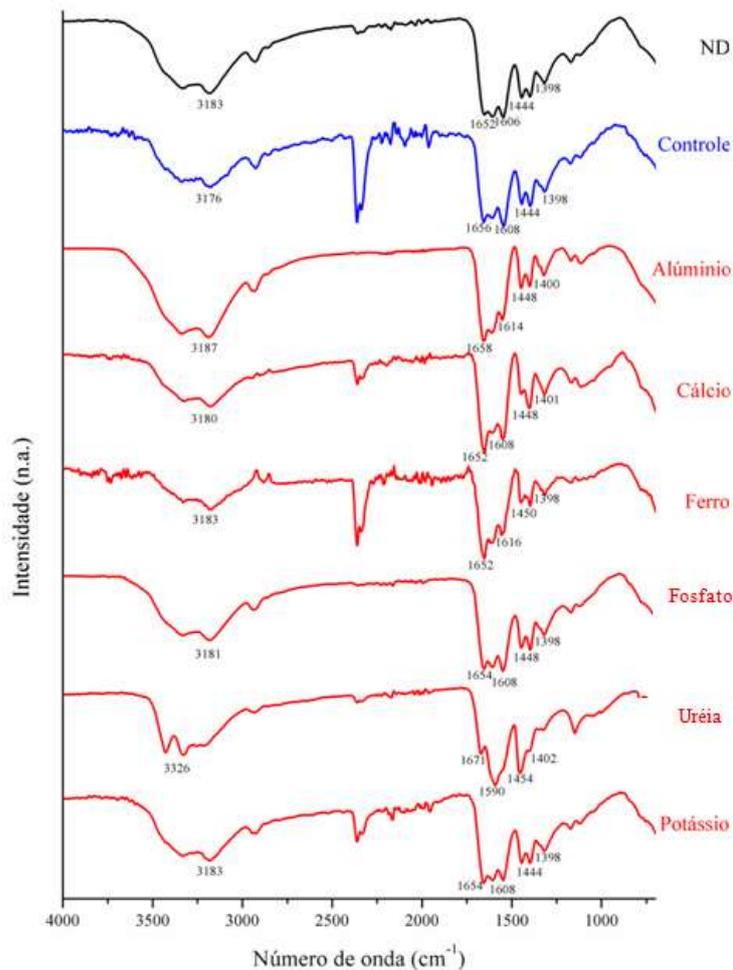
Utilizando resultados de SADICOFF *et al.* [16] e comparando com os espectros de infravermelho no FTIR de cada amostra foi possível identificar as bandas de absorção características da poliacrilamida com vibrações em formas de bandas de Amina, Metileno (cadeia principal) e três tipos de amida. Para esta análise foi utilizada a comparação de espectros a partir da razão de bandas (intensidade). Para tal, foram construídas as razões de bandas apresentadas na Tabela 1 entre a Amida III (AIII) e Amida II (AII) em relação ao metileno (M), sendo possível comparar a razão de bandas em espectros diferentes.

**Tabela 1:** Razão de bandas em diferentes espectros

	ND	CONTROLE	POTÁSSIO	ALUMÍNIO	CÁLCIO	FERRO	URÉIA	FOSFATO
Razão AIII/M	0,99	1,03	1,00	0,96	1,36	1,08	0,74	1,03
Razão AII/M	1,23	1,17	1,24	2,13	1,96	2,10	1,14	1,27

Com os resultados obtidos, pode-se observar na Tab. 1 que houve uma diferença grande de valores da poliacrilamida não degradada (ND) com, principalmente, os íons Cálcio, Alumínio e Ferro e a Uréia. Tais substâncias podem representar com essa grande alteração de razões, um indício que ocorre degradação e quebra de cadeia da poliacrilamida na região da acrilamida.

Para melhor comparação, foram construídas as curvas contendo os espectros no infravermelho da poliacrilamida em diferentes estados: não degradado (nd), degradado sem presença de substâncias químicas (controle) e degradado com presença dos íons: Alumínio, Cálcio, Ferro, Fosfato e Potássio e a Uréia (Figura 1).



**Figura 1:** Espectros no infravermelho da poliacrilamida em diferentes estados: não degradado, degradado sem presença substâncias químicas e degradado com presença do íon Alumínio, Cálcio, Ferro, Fosfato e Uréia e Potássio.

Dentre todas as substâncias químicas avaliadas, observa-se uma grande diferença do espectro Uréia em relação aos demais nas faixas de 1652 a 1402  $\text{cm}^{-1}$  confirmando alteração das amidas I, II e III. Houve grande diferença também no grupamento amina, enquadrado nas faixas entre 3176 a 3326  $\text{cm}^{-1}$  além do grupamento metileno com espectros variando de 1444 a 1454  $\text{cm}^{-1}$ . Esses deslocamentos do comprimento de onda do espectro da Uréia são indicativos de que a estrutura química da poliacrilamida foi alterada quando degradada em solução de Uréia. Além do mais, a Uréia, por ser utilizada com frequência nesse tipo de solo, como forma de fertilizante é conseqüentemente, encontrado em grandes concentrações no solo, sendo um dos principais determinantes da degradação do polímero.

Já pela comparação do espectro de Ferro com nd e controle, observa-se uma grande variação entre as faixas de 1606 a 1444  $\text{cm}^{-1}$  representadas pelas Amidas I e II. Essa alteração resulta em uma influência do íon na degradação do polímero e corrobora os resultados de YANG [17] que comprovou a ligação direta do íon metálico Ferro com a degradação térmica de poliacrilamida. Esse fato pode ser ainda confirmado devido à grande concentração de Ferro no solo em estudo (Latosolo Vermelho Escuro), o que intensifica a degradação.

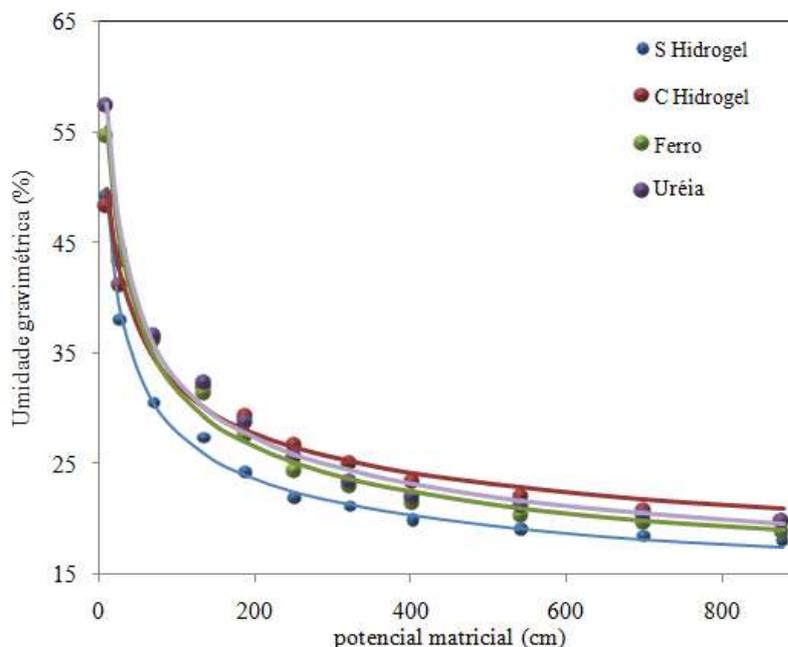
Observa-se também na Fig. 1 uma variação do espectro do Alumínio em relação ao espectro da poliacrilamida não degradada e controle (controle), entre as faixas de 1606 a 1614  $\text{cm}^{-1}$  representado pela Amida II. Esse resultado corrobora com estudos de DRANSKI *et al.* [18] que encontrou altos níveis de alumínio no solo e após aplicar hidrogel no plantio pode ter contribuído para a rápida degradação do polímero hidrorretentor.

Em suma, observa-se em todas as curvas apresentadas na Figura 1 que, após a degradação com solução de água destilada (controle) e solução de substâncias químicas, houve alteração na estrutura química do hidrogel, em diferentes proporções, uma vez que houve deslocamento do comprimento de onda do metileno

(cadeia principal), amidas e aminas. Nesse caso é possível observar que a radiação está alterando a estrutura química do hidrogel, indicando um processo de degradação com liberação de acrilamida.

Pelos resultados assumiram-se como substâncias mais influenciáveis na degradação do polímero, o Ferro e Uréia. Outro critério para a escolha dessas substâncias foi o solo em estudo, pois o mesmo possui alta aplicação de fertilizantes (NPK) e conseqüentemente grande concentração de Uréia e por ser um Latossolo com bastante presença de Ferro.

As curvas de retenção de água no solo sem hidrogel (SH), com hidrogel não degradado (CH), hidrogel degradado com solução de Ferro (Fe) e solução de Uréia (N), estão apresentadas na Figura 2, que representa a relação da umidade da amostra com a carga de sucção realizada na amostra de solo (h). As curvas de retenção foram bem ajustadas ao modelo proposto por van Genuchten, com coeficientes de determinação próximos de 1,0.



**Figura 2:** Curva de Retenção de água no solo sem hidrogel (SH), com hidrogel não degradado (CH), com hidrogel degradado com solução de Ferro (Fe), com hidrogel degradado com solução de Uréia (N) e seus respectivos ajustes

Conforme a Figura 2, em todas as tensões, o solo com presença do polímero, não degradado ou degradado com íon Ferro e a Uréia, obteve maior umidade, comprovando uma maior retenção de água com hidrogel. Esses resultados corroboram os obtidos por PREVEDELLO e BALENA [19] que observaram um aumento da disponibilidade de água em função das doses crescentes do polímero. Além do mais, estudos de SANTOS *et al.* [20] comprovaram uma maior eficiência do uso da água nas plantas cultivadas em solo com 16 g por vaso de hidrogel, proporcionando um aumento mais expressivo na capacidade de retenção de água no solo utilizado.

Especificamente, em tensões superiores, acima de 200 cm, nas quais o solo se encontra com baixa umidade e a cultura entra em estresse hídrico, a CRA foi superior na amostra com hidrogel não degradado, sendo um indicativo de que, nessas condições, o hidrogel degradado diminui a retenção de água e conseqüentemente a umidade do solo.

Estudos de GERVÁSIO e FRIZZONE [21] mostraram que, além de aumentar a retenção de água em baixas tensões, o polímero a libera facilmente a ponto de aumentar a sua disponibilidade para as plantas. Além do mais, comprovam que, mesmo em altas tensões, o hidrogel melhora as propriedades físico-hídricas do solo, sendo um bom indicativo de condicionador.

#### 4. CONCLUSÕES

Em presença de radiação ultravioleta, o íon Ferro e a Uréia têm maior influência no processo de degradação do polímero poliácrlamida podendo vir a liberar pequenas quantidades de acrilamida no solo.

Quando degradada as redes tridimensionais do polímero são comprometidas contribuindo para uma menor retenção e quantidade de água na estrutura.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e à INOVACAFÉ.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] MANTOVANI, E.C., “A irrigação do cafeeiro”, *ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem*, n.48, pp. 50-55, 2000.
- [2] AZEVEDO, T. L. F., BERTONHA, A., GONÇALVES, A. C. A., “Uso de Hidrogel na Agricultura”. *Revista do Programa de Ciências AgroAmbientais*, v.1, n. 1, pp. 23-31, 2002.
- [3] BERNARDI, M. R., SPEROTTO JUNIOR, M., DANIEL, O., *et al.*, “Crescimento de mudas de *Corymbiacitriodora* em função do uso de hidrogel e adubação”, *Cerne*, v. 18, n. 1, pp. 67-74, 2012.
- [4] CAMARA, G. R., REIS, E. F., ARAÚJO, G. L., *et al.*, “Avaliação do desenvolvimento do cafeeiro conilon robusta tropical mediante uso de polímeros hidrorretentores e diferentes turnos de rega”, *Enciclopédia Biosfera*, v. 7, n. 13, pp. 135-141, 2011.
- [5] CAULFIELD, M. J., HAO, X., QIAO, G. G., *et al.*, “Degradation on polyacrylamides. Part I. Linear polyacrylamide”, *Polymer*, v. 44, n. 5, pp. 1331-1337, 2003.
- [6] SMITH, E. A., PRUES, S. L., OEHME, F. W., “Environmental degradation of polyacrylamides. 1. Effects of artificial environmental conditions: temperature, light and pH”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 35, n. 2, pp.121-135, 1996.
- [7] PASSAUER, L., HALLAS, T., BÄUCKER, E., *et al.*, “Biodegradation of hydrogels from oxyethylated lignins in model soils”, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 3, n. 9, pp. 1955-1964, 2015.
- [8] LOPES, J. L. W., SILVA, M. R., SAAD, J. C. C., *et al.*, “Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos”, *Ciência Florestal*, v. 20, pp. 217-224, 2010.
- [9] EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, 2 ed., Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006.
- [10] AOUADA, F. A., MOURA, M. R., MENEZES, E. A., *et al.*, “Síntese de hidrogeis e cinética de liberação de amônio e potássio”, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, pp. 1643-1649, 2008.
- [11] VAN GENUCHTEN, M. T., “A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils”, *Soil Science Society of American Journal*, v. 44, pp. 892-898, 1980.
- [12] DEXTER, A.R., “Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth”, *Geoderma*, v.120, pp.201-214, 2004.
- [13] FREITAS JÚNIOR, E., SILVA, E. M. da. “Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água do solo, em uma única operação”. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 19, n. 11, pp. 1423-1428, Nov. 1984.
- [14] GUIMARÃES, L. M. *Determinação das propriedades hidráulicas em solos não saturados utilizando uma centrífuga de pequenas dimensões*. Tese de D. Sc., Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil/UFV, Viçosa, MG, Brasil, 2013.
- [15] COSTA, W. A, OLIVEIRA, C. A. S., KATO, E., “Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo-vermelho-amarelo”, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.32, n.2, pp.515-523, 2008.
- [16] SADICOFF, B. L., BRANDAO, E. M., LUCAS, E. F., *et al.*, “Copolimerização micelar de poli (acrilamida-g-óxido de propileno): avaliação reológica e caracterização de suas soluções”, *Polímeros*, v.11, n.2, pp.41-50, 2001.
- [17] YANG M. H., “The thermal degradation of polyacrylamide with adsorbed metal ions as stabilizers”, *Polymer Testing*, v.19, n.1, pp.85-91, 2000.
- [18] DRANSKI, J. A. L., PINTO JUNIOR, A. S., CAMPAGNOLO, M. A., *et al.*, “Sobrevivência e crescimento do pinhão-mansão em função do método de aplicação e formulações de hidrogel”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 5, pp. 537–542, 2013.

[19] PREVEDELLO, C. L., BALENA, S. P., “Efeitos de polímeros hidrorretentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos”, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 2, pp. 251-258, 2000.

[20] SANTOS, H. T. dos, CARVALHO, D. F., SOUZA, C. F., MEDICI, L. O., “Cultivo de alface em solos com hidrogel utilizando irrigação automatizada”, *Eng. Agrícola*, v.35, n.5, pp.852-862, 2015.

[21] GERVÁSIO, E.S., FRIZZONE, J.A., “Caracterização físico-hídrica de um condicionador de solo e seus efeitos quando misturado a um substrato orgânico”, *Irriga*, v. 9, n. 2, pp. 4-105, 2004.

#### ORCID

Antônio Ewerton da Silva Almeida <https://orcid.org/0000-0002-9707-6516>

Jessica Soares Freitas <https://orcid.org/0000-0002-1002-5071>

Luiz Fernando Coutinho de Oliveira <https://orcid.org/0000-0001-5260-3258>

Estephane Cristina de Faria Abreu <https://orcid.org/0000-0002-3887-4585>