

Estado da arte: um estudo sobre polímeros biodegradáveis na germinação e desenvolvimento de plantas

Uilian Gabaldi Yonezawa¹, Marcia Regina de Moura¹, Fauze Ahmad Aouada^{1*}

Resumo

Os hidrogéis sintéticos representam uma classe importante de materiais poliméricos se destacando pela sua capacidade de reter grandes quantidades de água e fluidos biológicos em suas redes tridimensionais. Com a crescente preocupação com o meio ambiente, os hidrogéis naturais vêm se destacando nos últimos anos como um novo produto ecológico, inovador e promissor para diversos campos de aplicações. Este trabalho de revisão tem como objetivo abordar a crescente aplicação do hidrogel na agricultura destacando as suas principais vantagens, dando ênfase na aplicação de hidrogéis biodegradáveis, mais especificamente, na melhoria de germinação, desenvolvimento, transplante e qualidade de sementes e plantas tais como as de trigo, quiabo, pepino e manjeriço, evidenciando os efeitos positivos da matriz de hidrogel. Fica evidente também a necessidade de determinar a quantidade e composição de hidrogel ideal, assim como, o tipo de solo e planta. Pois tais fatores influenciam na germinação e no desenvolvimento de um determinado cultivo. Dessa forma, os hidrogéis biodegradáveis quando explorado de forma adequada, tende a ser um produto ecológico e promissor quando se almeja sua aplicação na agricultura, sendo assim, uma crescente vertente a nível nacional e internacional.

Palavras-chave: Hidrogel. Biodegradabilidade. Retenção de água. Germinação. Sustentabilidade.

State of art: a study about biodegradable polymers in the germination and plant development

Abstract

Synthetic hydrogels represent an important class of polymeric materials due to their ability to retain large amounts of water and biological fluids in their three-dimensional networks. With the growing level of concern about the environment, natural hydrogels have been applied in the few last years as a new ecological product, that is innovative and promising for several applications. This review aims to approach the growing application of hydrogel in agriculture highlighting its main advantages, emphasizing the application of biodegradable hydrogels, more specifically, to improve seed germination, development, transplanting and plants and seed qualities, such as wheat, okra, cucumber and basil, evidencing the positive effects of the hydrogel matrix. Also, it is evident that the determination of the optimal quantity and hydrogel composition as well as the type of soil and plant is very important, since such factors may influence germination and development of specific cultivation. In this way, biodegradable hydrogels, when properly exploited, tend to be an ecological and promising product for agricultural application.

¹Grupo de Compósitos e Nanocompósitos Híbridos (GCNH), Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, São Paulo State University (Unesp), School of Engineering, Ilha Solteira, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brazil.

*Autor para correspondência: faouada@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 22 de março de 2017

Aceito para publicação em 20 de maio de 2017

Keywords: hidrogel. biodegradability. water retention. germination. sustainability. agriculture.

Introdução

A alta concentração da população nas áreas urbanas, juntamente com o crescimento da industrialização nos últimos anos, tem prejudicado o meio ambiente, o que possivelmente contribuiu para o aumento do aquecimento global intensificando as secas, temperaturas extremas e inundações, assim como o acúmulo de contaminantes químicos e biológicos em solo em toda a biosfera. Devido a tais acontecimentos, a eficiência do setor agrícola tem diminuído de maneira inevitável. Afim de superar essa deficiência, o consumo e a exploração dos recursos naturais e o uso de fertilizantes e pesticidas se intensificaram. Tais recursos adotados proporcionaram resultados positivos a curto tempo. No entanto, a longo prazo não é sustentável e atualmente os recursos naturais (exemplo a água) estão cada vez mais escassos e poluídos devido ao uso excessivo de fertilizantes e pesticidas (GALES *et al.* 2016). Porém, o principal objetivo do setor agrícola é aumentar a produção com qualidade, sem prejudicar o meio ambiente e os recursos naturais.

Estudos indicam que uma das alternativas que podem reduzir o uso dos recursos naturais, fertilizantes e pesticidas, visando à preservação do meio ambiente e a produção agrícola, é a utilização de polímeros hidrorretentores biodegradáveis (hidrogel) (LI; TSHABALALA; BUSCHLE-DILLER, 2016). Eles são capazes de liberar lentamente agrotóxicos, assim como, reter quantidades consideráveis de água no solo, proporcionando resultados positivos no cultivo de várias culturas (GUILHERME *et al.* 2015). Por exemplo, Wang *et al.* (2014), sintetizaram uma classe de hidrogel biodegradável (carboximetilquitosana (CMCS) e N-maleil quitosana) e segundo os autores o hidrogel possui excelente propriedade de adsorção de amônia e liberação controlada de nitrogênio quando adicionado ao solo.

A adição do hidrogel (copolímero de acrilamida e acrilato de potássio e amido de milho) em substrato elevou a germinação e o crescimento do cultivar de espinafre possivelmente devido à absorção de água e nutrientes do meio, acarretando em uma liberação lenta dos mesmos (FAN *et al.* 2015). Portanto a utilização dos hidrogéis biodegradáveis na agricultura tende a ser uma nova tecnologia sustentável, ecológica e promissora,

capaz de suprir determinadas deficiências encontradas atualmente nos setores agrícolas.

O presente trabalho de revisão tem como objetivo central construir o estado da arte sobre a aplicação de hidrogéis biodegradáveis na agricultura, mais especificamente, na melhoria de germinação de sementes, desenvolvimento e qualidade de plantas. Para isso, diversos trabalhos de literatura foram analisados, dando ênfase nos últimos dez anos a partir de suas publicações. A motivação na construção desse marco de dados sobre hidrogel na agricultura é auxiliar os pesquisadores atuantes nessa crescente vertente, a nível nacional e internacional.

Na parte introdutória, os autores descrevem de forma sucinta, a definição e classificação de hidrogéis com o intuito de apresentar aos leitores a matriz de estudo, bem como suas principais aplicações na agricultura, sendo essas diretamente relacionadas as propriedades inerentes dos hidrogéis, tais como: baixo custo de obtenção, reprodutibilidade na síntese, biodegradabilidade, propriedades mecânicas e de absorção de água controladas, capacidade de sorção e dessorção controlada de diferentes insumos agrícolas. Na segunda parte desse trabalho de revisão, os autores descrevem as principais contribuições da aplicação de diferentes hidrogéis no cultivo e desenvolvimento de diversas mudas, mais especificamente, os autores focam seus estudos no efeito do hidrogel na germinação de semente, desenvolvimento e/ou transplante de plantas.

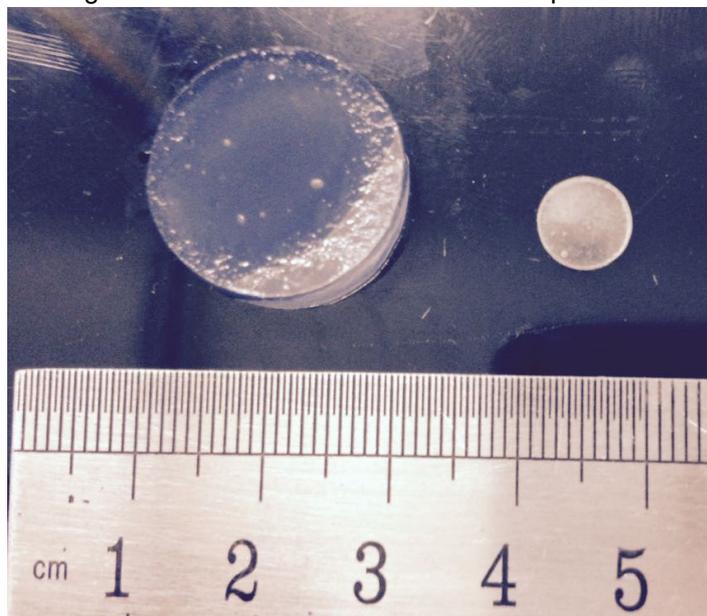
Hidrogel

Os hidrogéis representam uma classe importante de materiais poliméricos. Eles possuem redes reticuladas tridimensionais (obtidos por reticulações química ou interações físicas) e exibem capacidade de se expandirem, retraindo água ou fluido biológico dentro de sua estrutura (AHMED, 2015). A capacidade de retenção depende dos grupos hidrofílicos presentes em sua composição (-OH-, -CONH-, -COO- e -SO₂H-). Já a capacidade de expansão está relacionada a um fenômeno osmótico, responsável pelo transporte do solvente para o interior do hidrogel, que é contrabalanceada por uma força elástica retrativa. Assim, o hidrogel alcança a sua capacidade máxima de absorção, ou seja, o seu estado de equilíbrio de intumescimento (FIGURA 1). Outra

característica importante do hidrogel é a sua capacidade de liberação controlada (BARDAJEE;

HOOSHYAR, 2014; ULLAH *et al.* 2015).

Figura 1 – Imagem do hidrogel seco e intumescido no estado de equilíbrio



Fonte: Elaborada pelos autores, 2017.

Atualmente a maioria dos hidrogéis disponíveis é de origem sintética, o que limita o seu uso devido ao alto custo de produção e especialmente por não serem degradados biologicamente, podendo gerar resíduos, prejudicando o meio ambiente. No entanto, a combinação de polímeros naturais na síntese de hidrogel vem se destacando por apresentarem boa hidrofilicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, flexibilidade e atoxicidade (TAVAKOL *et al.* 2016). Estas características têm permitido diferentes campos de aplicação, tais como indústria de higiene, indústria farmacêutica, biomédica e agricultura (GARNICA-PALAFIXA; SÁNCHEZ-ARÉVALOA, 2016). Portanto, devido às vantagens e versatilidade de aplicação citadas, o desenvolvimento de novos hidrogéis a base de polissacarídeos vem se destacando nos últimos anos, contribuindo para sua melhor eficiência e benefício.

O uso de hidrogel na agricultura

Os primeiros hidrogéis a base de acrilamida foram sintetizados na década de 50. Por volta dos anos 70, a patente do produto expirou e uma empresa britânica aprimorou suas propriedades, elevando sua capacidade de intumescimento de 20 para 40 vezes e, posteriormente, de 40 para 400 vezes. Entretanto o elevado custo inviabilizava o seu uso na agricultura dificultando assim, o desenvolvimento de novas pesquisas que for-

nessessem recomendações do uso e aplicações de hidrogéis (MENDONÇA *et al.* 2013).

O uso de hidrogel na agricultura ganhou destaque a partir dos anos 80, através de inúmeros trabalhos desenvolvidos. Por exemplo, Flannery e Busscher (1982), testaram o hidrogel (Permabsorb®) no cultivo de azaléia (*Rhododendron*) e azevém (*Lolium multiflorum L.*) e constataram um aumento na capacidade de retenção de água provido do hidrogel, o que acarretou em significativas diminuições de rega sem afetar o rendimento das mudas. Já Al-Harbi (1999) pesquisou o efeito de polímero hidrofílico no crescimento de mudas de pepino (*Cucumis sativus L.*). O autor notou uma diminuição da densidade do solo com a adição do polímero. Ele observou também resultados significativamente positivos no crescimento vegetativo, expresso pela área foliar, massas fresca e seca.

Por volta de 2006, o assunto de grande interesse na época, era o uso de polímeros naturais (celulose, amido, gelatina e goma-guar) para a síntese de hidrogel, o que tornava certas propriedades mais atraentes e principalmente deixava o hidrogel biodegradável. Tornando assim, um produto de grande interesse para a aplicação no ramo agrícola sem ameaçar o meio ambiente. Deste modo, novos estudos começaram a surgir como, por exemplo: El-Rehim, (2006) sintetizou

um hidrogel a base de poli(acrilamida e alginato de sódio e estudou a incorporação do mesmo em solo arenoso no cultivo de feijão (*Phaseolus vulgaris*). Ele concluiu que o hidrogel aumentou a capacidade de retenção de água e que a degradação enzimática do hidrogel com alginato de sódio produzia oligo-alginato, o qual atuou no crescimento da planta. No entanto, por ser uma pesquisa recente e ainda muito pouco explorada na época, o uso de hidrogéis sintéticos em pesquisas continuavam sendo aplicados.

A partir do ano de 2012 até o presente momento, a quantidade de trabalho desenvolvido sobre a aplicação de hidrogel na agricultura vem crescendo substancialmente. Nesse sentido Dranski *et al.* (2013) analisaram a sobrevivência e crescimento de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) em função da aplicação de hidrogel e observaram que doses elevadas podem prejudicar o desenvolvimento dessas mudas. No mesmo ano, Pazderu e Koudela estudaram a influência do hidrogel na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa*) e cebola (*Allium cepa*) e notaram também que doses elevadas do polímero prejudicaram a germinação de ambas as sementes.

Azevedo (2014) estudou a produção de mudas clonais de *Eucalyptus spp* com polímero hidrorretentor incorporado no substrato. O autor concluiu que o polímero é uma alternativa promissora para a produção das mudas, permitindo otimizar o uso da água em viveiro florestal. Santo e Silva, (2016) relataram que a aplicação de hidrogel comercial (Terracottem®) no cultivo da planta *Jatropha curcas L.* contribuiu para produzir mudas mais vigorosas, em que efeitos positivos sobre a biomassa total e biomassa da parte aérea foliar foram observados. Os autores ainda sugerem que a aplicação do hidrogel pode reduzir o uso de água em até 50 % sem afetar o crescimento das plantas. Navroski *et al.* (2016), analisaram o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* influenciado pela adição de hidrogel de amido no substrato agrícola. Eles observaram melhorias nas propriedades físico-químicas do sistema e, que a utilização do hidrogel nas concentrações de 2 e 4 g.L⁻¹ pode aumentar significativamente a qualidade e crescimento das mudas, reduzindo assim, o tempo de permanência em viveiro.

Vale ressaltar que diversas pesquisas sobre a síntese de hidrogel a base de polímeros naturais foram desenvolvidas, direcionando o seu uso para aplicação na agricultura como, por exemplo, os trabalhos publicados por Bortolin *et al.* (2013) e Ferreira Junior *et al.* (2017). Porém,

relatos do uso de tais hidrogéis no desenvolvimento e cultivo de qualquer cultura ainda são limitados. É notório também que a quantidade de hidrogel e o tipo de planta a ser cultivada são fatores que podem influenciar nos resultados que se deseja obter. No entanto, fica evidente que o hidrogel quando explorado de forma correta é um produto promissor para uso agrícola.

Ação dos hidrogéis na retenção de água

Um dos interesses de aplicar o hidrogel na agricultura está relacionado ao aumento da capacidade de retenção de água no solo ou substrato de cultivo, o que certamente acarretará em uma maior disponibilidade de água quando aplicado em uma determinada cultura. Narjary *et al.* (2012) estudaram a disponibilidade de água em diferentes tipos de solo em relação a aplicação de hidrogel. Os tipos de solos analisados foram: areia, arenoso aluvial, fraco-arenoso vermelho e barro preto, cada tipo de solo foram submetidos a três dosagens de hidrogel. O resultado da medição do teor de água crítica no solo de areia tratada com 0,7 % de hidrogel foi de 22 dias, o que sugere maior intervalo de irrigação. Por outro lado, o solo barro preto demonstrou ser inadequado, indicando um teor de água crítica no solo de aproximadamente 4 dias. Os demais solos indicaram um intervalo de irrigação de 14 dias correspondente ao tempo de teor de água crítica no solo.

Rabat; Hashimb e Majidb (2016) analisaram a retenção de água em solo com hidrogéis preparados com os monômeros ácido acrílico, acrilamida e ácido acrílico-co-acrilamida. Os resultados mostraram que as relações de evaporação de água do solo com o hidrogel preparado com acrilamida tiveram perda de 30,84 % e 44,06 % para 15 e 30 dias, respectivamente. Indicando excelente capacidade de retenção de água. Já o copolímero (ácido acrílico-co-acrilamida) evidenciou uma perda de 32,18 % e 51,30 % para 15 e 30 dias, respectivamente. Por fim, o hidrogel preparado com ácido acrílico teve uma evaporação de água no solo de 39,17 % e 56,62 % para 15 e 30 dias de análises, respectivamente. O que demonstrou ser o hidrogel com maior perda de água por evaporação quando comparado com os demais hidrogéis.

Navroski *et al.* (2016) descreveram que a adição de diferentes dosagens de hidrogel no substrato elevou a densidade úmida e a porosidade do substrato, e que dosagens elevadas de hidrogéis aumentou a capacidade de retenção de água. Os autores relatam ainda que a disponibi-

lidade de água no substrato é de grande importância para a eficiência do processo metabólico das plantas, resultando em maior crescimento e desenvolvimento das plantas. Portanto, fica evidente que a composição do hidrogel, assim como, o tipo de solo pode influenciar na capacidade de retenção ou disponibilidade de água quando se almeja aplicação do hidrogel na agricultura. Deste modo, o hidrogel certamente contribuirá para o desenvolvimento de novas pesquisas.

Hidrogel e agroquímicos

O emprego do hidrogel como veículo de liberação controlada de fertilizante vem se destacando por aumentar a eficiência dos insumos agrícolas quando depositado no solo. Davidson; Verma e Gu (2013) estudaram um dispositivo de liberação controlada usando fertilizante (20-20-20) misturado com hidrogel a base de carboximetilcelulose com o objetivo de minimizar o custo e aumentar a eficiência do uso de fertilizante na cultura de trigo (*Triticum*). O dispositivo de liberação controlada permitiu uma redução de 78 % de fertilizante sem prejudicar o rendimento da planta. Após o experimento, as plantas foram arrancadas e notou-se que os hidrogéis tinham uma coloração azul proveniente do fertilizante residual, evidenciando assim, a liberação de fertilizante no solo pela presença do hidrogel. Os autores observaram também, que o dispositivo de liberação controlada adotado aumentou o crescimento e o rendimento das plantas de trigo.

Qiao *et al.* (2016) analisaram a liberação lenta de fertilizante encapsulado com duplo revestimento de acetato de celulose e hidrogel a base de amido (amido de milho, mandioca e batata). Os resultados demonstraram um comportamento de liberação de ureia sem revestimento no solo de 95 % durante 24 horas. Enquanto que, a revestida com acetato de celulose apresentou uma redução considerável de liberação lenta de 60 %. No entanto a ureia com duplo revestimento demonstrou uma redução importante na liberação lenta; em destaque para o duplo revestimento de hidrogel a base de amido de batata, no qual proporcionou excelente propriedade de liberação lenta com uma quantidade de 40 % durante 24

horas podendo liberar continuamente durante um longo período de tempo cerca de 70 % de ureia durante 96 horas. Os autores ainda relatam que os fertilizantes revestidos com hidrogel de amido de milho e mandioca também mostraram consideráveis propriedades de liberação lenta.

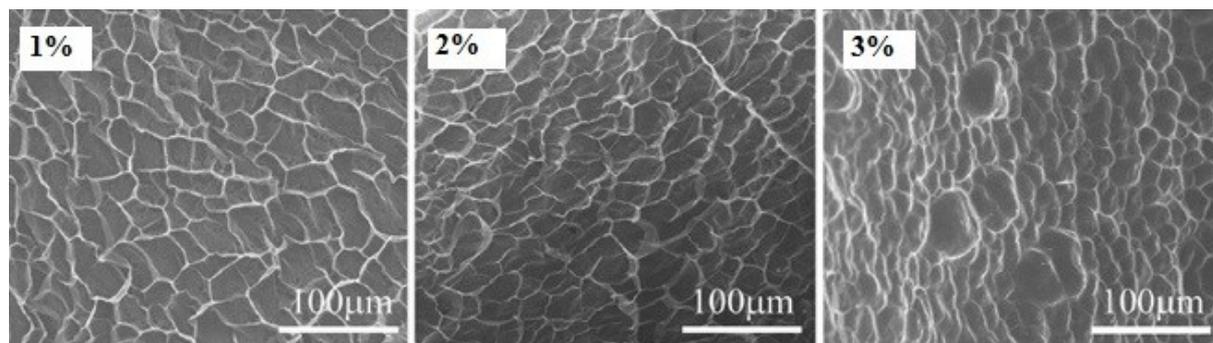
Santos *et al.* (2016) estudaram a liberação controlada de nitrogênio no cultivo de quiabeiro (*Abelmoschus esculentus L. Moench*) em função do hidrogel de carboximetilcelulose (CMC). A liberação de nitrogênio foi investigada durante 90 dias. Segundo os autores, 50 % de nitrogênio são liberados em 25 dias, tendendo a estabilização da liberação em 60 %, o que promoveu um desenvolvimento das mudas de quiabeiro cultivado em jardineira de forma mais homogênea e vigorosa. Evidenciando ser uma alternativa eficiente para liberação controlada de nitrogênio, evitando possíveis riscos de eutrofização do solo, baixa eficiência na fertilização e contaminação do meio ambiente, além de contribuir para diminuição do custo de produção.

Aplicação do hidrogel no cultivo e desenvolvimento de mudas

a) Efeito do hidrogel na germinação de semente

O hidrogel tem sido amplamente aplicado na agricultura como sistema de fornecimento de água e nutrientes como descritos anteriormente neste estudo. Relatos na literatura indicam que quando aplicado corretamente, proporciona resultados positivos no processo germinativo, assim como excelente comportamento de crescimento e desenvolvimento das plantas. Por exemplo, Tang *et al.* (2014) estudaram um hidrogel de quitina aplicado na germinação de sementes de colza (*Brassica napus*) (planta que é utilizada para produção de biodiesel e através da semente também se extrai o azeite de colza). Foram preparados hidrogéis com concentração de quitina de 1, 2 e 3 %. Segundo os autores, os hidrogéis de quitina demonstraram ter estruturas microporosas homogêneas (FIGURA 2) e essas características dependem do teor de quitina, boa capacidade de intumescimento e propriedades de resistência mecânica satisfatórias.

Figura 2 – Micrografias dos hidrogéis de quitina



Fonte: Extraída de Tang *et al.* (2014).

Os resultados de cinética de germinação indicaram que todas as sementes germinam muito rápido. A porcentagem de germinação no hidrogel com 2 % de quitina evidenciou ser o melhor meio de cultura, em que a porcentagem de germinação aumentou de 0 a 100 % em 2 dias. Deste modo, a eficiência desse hidrogel no processo germinativo pode estar relacionada com os resultados da estrutura homogênea microporosa, em que mantém grandes quantidades de água retidas em sua estrutura disponibilizando quantidade de água suficiente para o cultivo por um longo período de tempo. Portanto o hidrogel de quitina exibiu uma germinação eficaz na semeadura de colza demonstrando ser um produto com potencial para aplicação no campo para germinação e

crescimento de plantas.

Sutradhar *et al.* (2015) sintetizaram um hidrogel superabsorvente (SAP) a partir de uma solução com ácido acrílico e carboximetilcelulose, neutralizada com KOH seguido por irradiação de raios- γ . O hidrogel sintetizado foi testado na germinação de semente de trigo e quiabo. Os autores utilizaram um solo com 15 % de umidade depositada em seis recipientes. Os recipientes, contendo somente solo (controle) e solo com 0,3 % de hidrogel, foram irrigados com 800 mL de água. Em cada recipiente foram semeadas 100 sementes. A porcentagem de germinação e a energia de germinação foram calculadas com as seguintes equações:

$$\text{porcentagem de germinação (\%)} = \frac{\text{quantidade de sementes que germinaram}}{\text{total}} \times 100$$

$$\text{energia de germinação (\%)} = \frac{\text{quantidade de sementes que germinaram nos três primeiros dias}}{\text{total de sementes}} \times 100$$

Todas as sementes utilizadas indicaram que a energia de germinação de sementes em solo com hidrogel foram de 27 % e 20 % maior que o controle (solo sem hidrogel) para o cultivo de trigo e quiabo, respectivamente. O que demonstraram mudas mais elevadas e de melhor qualidade. Este efeito pode estar relacionado com a capacidade do hidrogel em absorver e reter grandes quantidades de água, o que fornece água abundante

para promover o crescimento da planta. Foram observados também no solo com hidrogel efeitos positivos sobre a porcentagem de germinação, comprimento e massa no cultivo de trigo (TABELA 1) e quiabo (TABELA 2). Portanto, pode-se concluir que os hidrogéis testados têm potencial para aplicação na agricultura, especialmente em regiões áridas e desérticas.

Tabela 1 – Efeito do hidrogel sobre a germinação das sementes (depois de 3 dias) e crescimento de mudas de trigo (depois de 6 dias)

	Altura da muda (cm)	Comprimento da raiz (cm)	Massa fresca da muda (g)	Massa seca da muda (g)	Porcentagem de germinação (%)
Hidrogel (0 %)	18,1 ± 0,1	2,40 ± 0,1	0,2203 ± 0,1	0,0397 ± 0,1	70
Hidrogel (0,3 %)	21,5 ± 0,1	3,78 ± 0,1	0,2532 ± 0,1	0,0446 ± 0,1	92

Fonte: Adaptada de Sutradhar *et al.* (2015).

Tabela 2 – Efeito do hidrogel sobre a germinação sementes (depois de 3 dias) e crescimento de mudas de quiabo (depois de 15 dias).

	Altura da muda (cm)	Comprimento da raiz (cm)	Massa fresca da muda (g)	Massa seca da muda (g)	Porcentagem de germinação (%)
Hidrogel (0 %)	10,4 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,3043 ± 0,1	0,0365 ± 0,1	40
Hidrogel (0,3 %)	16,5 ± 0,1	2,1 ± 0,1	0,4254 ± 0,1	0,0261 ± 0,1	60

Fonte: Adaptada de Sutradhar *et al.* (2015).

Jamari; Ghazali e Yaacob (2015) estudaram hidrogéis superabsorventes juntamente com carbono orgânico no cultivo de sementes de quiabo. O carbono utilizado como matéria prima para o composto superabsorvente foi sintetizado através do método hidrotérmico usando óleo do cacho de frutos de palma. Segundo os autores, o carbono tem como objetivo aumentar a taxa de biodegradação do hidrogel, melhorar as propriedades físicas, aumentar a capacidade de troca

catiônica e retenção de água do solo. Os resultados do processo de germinação e crescimento da muda desse cultivar podem ser observados na Figura 3. Com base nas observações físicas, em termos de altura e tamanho de folhas, as mudas de quiabo cultivadas com hidrogel superabsorvente desenvolveram mais rapidamente (FIGURA 3B e 3C), quando comparada com o controle (FIGURA 3A).

Figura 3 – Imagem do cultivo de quiabo após 7 dias do plantio para hidrogel superabsorvente sem carbono (A = controle, B = 0,25 % e C = 0,5 % em massa)



Fonte: Adaptada de Jamari *et al.* (2015).

As sementes de quiabo germinadas foram mais elevadas na presença do hidrogel quando comparada com o controle. Evidenciaram também, que a incorporação do hidrogel com ou sem carga de carbono no solo contribui com efeitos positivos para meio de cultivo. O desenvolvimento da muda de quiabo com 5 % em massa de hidrogel sintetizado em diferentes concentrações de carbono misturado ao solo, demonstraram que após 7 dias da sementeira das sementes de quiabo, o processo de germinação foi mais rápido para o hidrogel sem carbono, uma vez que, a altura foi de 25-30 % mais elevada quando comparado com o hidrogel sintetizado com carbono. No entanto, após 14 dias do plantio observou-se que a altura registrada para o solo misturado com hidrogel superabsorvente contendo carbono foi mais ele-

vada quando comparado com o hidrogel sem carbono. Evidenciando assim, possíveis efeitos positivos nas propriedades físicas do solo em função da adição do carbono. Portanto o hidrogel superabsorvente com carbono ajuda a melhorar a qualidade do solo, assim como a germinação e o crescimento do cultivo quiabo.

b) Efeito do hidrogel no desenvolvimento e/ou transplante de plantas

Montesano *et al.* (2015) estudaram um hidrogel superabsorvente a base de celulose no cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) e manjerição (*Ocimum Basilicum*). Ambos os ensaios do cultivo de pepino e manjerição foram realizados em casa de vegetação.

Para o ensaio de pepino foram utilizados vasos preenchidos com solo arenoso (controle) e solo arenoso com 2 g.L⁻¹ de hidrogel. As mudas foram transplantadas quando apresentavam três folhas bem definida. No cultivo de manjeriço foram utilizados vasos preenchidos com perlita (controle), perlita contendo 3 ou 6 % de hidrogel.

Os resultados do crescimento das mudas de pepino submetidas a tratamento com hidrogel estão demonstrados na Tabela 3. Nota-se que a presença do hidrogel no solo arenoso proporcionou resultados positivos em todos os parâmetros analisados quando comparado com solo sem hidrogel.

Tabela 3 – Os parâmetros de crescimento da muda de pepino cultivados em solo arenoso com hidrogel e sem hidrogel em 35 dias após o transplante.

Tratamento	AP (cm)	BFT (g/planta)	BFF (g/planta)	PFH (g/planta)	PFF (g/planta)	AF (cm ² /planta)
Solo sem hidrogel	158	913	285	264	364	8770
Solo com hidrogel	180	1753	468	427	858	14275
Significativo a 0,1 % (***)	***	***	***	***	***	***

AP: altura da planta; BFT: biomassa fresca total; BFF: biomassa fresca d folha; PFH: peso fresco da haste; PFF: peso fresco do fruto e AF: área folhar.

Fonte: Adaptada de Montesano *et al.* (2015).

As mudas quando submetidas a uma quantidade de água controlada (suspensão de irrigação durante 24 h) demonstrou uma maior hidratação de tecido foliar na presença do hidrogel, em que a porcentagem da matéria seca das folhas foi inferior na presença do hidrogel. Estes resultados são confirmados pelos resultados elevados do potencial hídrico foliar e do potencial de turgor da folha nos tratamentos com hidrogel. Portanto, mesmo com suspensão da irrigação, a presença do hidrogel disponibiliza quantidade adequada de água para as plantas, confirmando os efeitos positivos do hidrogel no crescimento das mudas e na redução dos efeitos do estresse hídrico.

A Tabela 4 mostra os resultados do cultivo de manjeriço em perlita com hidrogel. Observou-se um aumento na biomassa fresca em 46 dias. Por outro lado, o efeito do hidrogel tende a diminuir na parte final do ciclo de manjeriço de tal modo que, não foram observadas diferenças significativas em 63 dias, sendo que tais resultados podem estar relacionados com a possível degradação do hidrogel devido o ciclo de hidratação e desidratação periódico e a taxa de fertilização alta durante o cultivo da planta. Portanto o hidrogel testado demonstrou ser adequado para agricultura, com potencial favorável, em particular, para ciclos de curto cultivo.

Tabela 4 – Peso fresco de mudas de manjeriço cultivado em perlita (controle), perlita com 3 % de hidrogel e perlita com 6 % de hidrogel em 46 e 63 dias após a semeadura.

Hidrogel com perlita (%)	Biomassa fresca 46 dias (mg/planta)	Biomassa fresca 63 dias (g/planta)
0	750 b	11,44
3	1170 a	12,64
6	1330 a	13,04
Significativo	***	ns

Média dos valores nas colunas seguidas pelas mesmas letras não foram significativamente diferentes ao nível de 5% e ns, não significativo; *** Significativo no nível de 0,1%, respectivamente.

Fonte: Adaptada de Montesano *et al.* (2015).

Gilbert *et al.* (2014) estudaram os efeitos de hidrogéis na umidade do solo e no crescimento de Guandu (*Cajanus cajan*) em região semiárida, cultivadas em viveiro e no transplante de mudas

no campo. Após a germinação das sementes mediu-se o diâmetro do colo da raiz e a altura a cada duas semanas durante dois meses. Os resultados demonstraram que níveis crescentes de hidrogel

prejudicaram o crescimento de mudas no viveiro, tanto em altura da muda quanto no diâmetro do colo da raiz. Segundo os autores, tais resultados podem estar relacionados com as altas concentrações de hidrogel, capaz de absorver água e encherem os poros do solo causando excesso de água nos tubos de polietileno, retardando o crescimento de mudas.

Para o experimento em campo, as mudas cultivadas em viveiro foram transplantadas depois de dois meses. Os efeitos dos hidrogéis no crescimento de mudas no campo indicaram resultados significativos no crescimento em altura e no diâmetro do colo da raiz com o aumento da concentração de hidrogel em mudas transplantadas, em destaque para o cultivo com a concentração de 15 g de hidrogel. Indicando um crescimento em altura e no diâmetro do colo da raiz de aproximadamente 10 cm e 0,1 cm maior que o controle após 3 meses, respectivamente. Estes efeitos podem estar relacionados com o aumento do teor de umidade do solo observado na análise de umidade das amostras coletadas a partir da base das mudas, em que, o teor de umidade para a concentração de 15 g de hidrogel apresentou ser aproximadamente 5 % maior que o controle. Portanto tais resultados evidenciam que os hidrogéis em altas concentrações retardam o crescimento de mudas no viveiro, mas melhora o mesmo após o transplante. Eles também aumen-

tam o teor de umidade do solo aumentando assim, a sobrevivência das mudas após o transplante.

Considerações finais

Conforme os relatos encontrados na literatura, é possível concluir que a aplicação de hidrogel pode melhorar a germinação e desenvolvimento de diversos cultivares, tais como: sementes de colza, trigo, quiabo, pepino, manjeriço, guandu, devido às suas propriedades de reter e disponibilizar grandes quantidades de água, assim como liberação controlada de insumos agrícolas. É notório também que vários fatores podem influenciar na germinação e desenvolvimento de um determinado cultivo, tais como: composição e quantidade de hidrogel, tipo de solo e planta. Assim, o hidrogel quando explorado de forma adequada, tende a ser um produto ecológico e promissor para futuras aplicações na agricultura.

Agradecimentos

Às agências de fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e concessão de bolsas de produtividade em pesquisa e de estudo.

Referências

- AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of Advanced Research**, v. 6, p. 105-121, 2015.
- AL-HARBIL. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments. **Horticultura Science**, v. 34, p. 223-224, 1999.
- AZEVEDO, G. T. O. S. **Produção de mudas clonais de *Eucalyptus spp.* com polímero hidroretentor incorporado ao substrato**. 2014. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/15943>>. Acesso em: 07 dez. 2016.
- BARDAJEE, G. R.; HOOSHYAR, Z. One-pot synthesis of biocompatible superparamagnetic iron oxide nanoparticles/hydrogel based on salep: Characterization and drug delivery. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 741–751, 2014.
- BORTOLIN, A. *et al.* Nanocomposite PAAm/methyl cellulose/montmorillonite hidrogel: Evidence of synergistic effects for the slow release of fertilizers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 7431-7439, 2013.
- DAVIDSON, D. W.; VERMA, M. S.; GU, F. X. Controlled root targeted delivery of fertilizer using an ionically crosslinked carboxymethyl cellulose hydrogel matrix. **Springer Plus**, v. 2, p. 318, 2013.
- DRANSKI, J. A. L. *et al.* Sobrevivência e crescimento de pinhão-mansão em função do método de aplicação e formulações de hidrogel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 537-542, 2013.
- EL-REHIM, H. A. A. Characterization and possible agricultural application of polyacrylamide/sodium alginate crosslinked hydrogels prepared by ionizingradiation. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 101, p. 3572-3580, 2006.

- FLANNERY, R. L.; BUSSCHER, W. J. Use of a synthetic polymer in potting soils to improve water holding capacity. **Communication in Soil Science Plant**, v. 13, p. 103-111, 1982.
- FAN, R. *et al.* Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. **Pedosphere**, v. 25, p. 737-748, 2015.
- FERREIRA JUNIOR, C. R.; de MOURA, M. R.; AOUADA, F. A. Synthesis and characterization of intercalated nanocomposites based on poly(methacrylic acid) hydrogel and nanoclay cloisite-Na⁺ for possible application in agriculture. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 17, p. 5878-5883, 2017.
- GALES, D. C. *et al.* Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. **Geoderma**, v. 267, p. 102-111, 2016.
- GARNICA-PALAFIXA, I. M.; SÁNCHEZ-ARÉVALO, F. M. Influence of natural and synthetic crosslinking reagents on the structural and mechanical properties of chitosan-based hybrid hydrogels. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 1073-1081, 2016.
- GILBERT, C. *et al.* Effects of hydrogels on soil moisture and growth of *Cajanuscajan* in semi arid zone of Kongelai, West Pokot County. **Journal of Forestry**, v. 4, p. 34-37, 2014
- GUILHERME, M. R. *et al.* Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. **European Polymer Journal**, v. 72, p. 365-385, 2015.
- JAMARI, S. S.; GHAZALI, S.; YAACOB, W. S. N. W. Effect of superabsorbent polymer composite filled carbon fiber towards the germination of *Abelmoschus Esculentus*. **Journal of Advanced Agricultural Technologies**, v. 2, p. 156-159, 2015.
- LI M.; TSHABALALA, M. A.; BUSCHLE-DILLER, G. Formulation and characterization of polysaccharide beads for controlled release of plant growth regulators. **Journal of Materials Science**, v. 51, p. 4609-4617, 2016.
- MENDONÇA, T. G. *et al.* Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, p. 87-92, 2013.
- MONTESANO, F. F. *et al.* Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 451-458, 2015.
- NAVROSKI, M. C. *et al.* Initial growth of seedlings of *Eucalyptus dunnii* Maiden influenced by the addition of natural polymer and farming substrates. **Revista Árvore**, v. 40, p. 627-637, 2016.
- NARJARY, B. *et al.* Water availability in different soils in relation to hydrogel application. **Geoderma**, v. 187, p. 94-101, 2012.
- PAZDERU, K.; KOUDELA, M. Influence of hydrogel on germination of lettuce and onion seed at different moisture levels. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 61, p. 1817-1822, 2013.
- QIAO, D. *et al.* Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer. **Carbohydrate Polymers**, v. 147, p. 146-154, 2016.
- RABAT, N. E.; HASHIM, S.; MAJID, R. A. Effect of different monomers on water retention properties of slow release fertilizer hydrogel. **Procedia Engineering**, v. 148, p. 201-207, 2016.
- SANTOS, M. R. P.; SILVA, M. J. M. Growth and development of *Jatropha curcas* seedling using terracotem soil conditioners under different irrigation levels. **Emirantes Journal of Food and Agriculture**, v. 28, p. 326, 2016.
- SANTOS, R. *et al.* Obtenção e avaliação de nutriente de nitrogênio em plantio de quiabeiro (*Abelmoschus esculentus* L. *Maenchi*). **Revista Técnica Científica**, p. 1-9, 2016.
- SUTRADHAR, S. C. *et al.* The synthesis of superabsorbent polymer from a carboxymethylcellulose/acrylic acid blend using gamma radiation and its application in agriculture. **Journal of Physical Science**, v. 26, p. 23-39, 2015.
- TANG, H. *et al.* Application of chitin hydrogels for seed germination, seedling growth of rapeseed. **Journal Plant Growth Regulation**, v. 33, p. 195-201, 2014
- TAVAKOL, M. *et al.* Synthesis and characterization of an in situ forming hydrogel using tyramine conjugated high methoxyl gum tragacanth. **Biomaterials Applications**, v. 30, p. 1016-1025, 2016.
- ULLAH, F.; OTHMAN, M. B. H.; JAVED, F.; AHMAD, Z.; AKIL, H. M. D. Classification, processing and application of hydrogels: A review. **Materials Science and Engineering C**, v. 57, p. 414-433, 2015.
- WANG, X. *et al.* Highly efficient adsorption of ammonium onto polyglycerol nanocomposite and evaluation of its recovery as a multifunctional slow-release fertilizer. **Chemical Engineering**, v. 252, p. 404-414, 2014.