

Hidrogel: Uma Alternativa ao Manejo Sustentável da Agricultura¹

THALIANA MANUELLA FÉLIX CANÁRIO²
FABÍOLA GOMES DE CARVALHO³

Resumo

A água é o recurso mais importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo necessário implementar alternativas que otimizem o seu uso e o manejo agrícola sustentável. Nesse sentido, os hidrogéis representam uma alternativa tecnológica, pois desempenham funções importantes na agricultura, regulando a disponibilidade de água e nutrientes às plantas, além de influenciar a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera. Com o objetivo de realizar uma revisão de literatura sobre o uso de hidrogel na agricultura, esta pesquisa de caráter exploratório, utilizou além das bases de dados CAPES e SciELO, materiais complementares sobre o assunto. Após leitura e triagem, a discussão dos trabalhos revisados resultou no agrupamento de três categorias: manejo agrícola sustentável; hidrogel agrícola e suas propriedades; uso do hidrogel nos cultivos agrícolas. A literatura consultada relata diversos benefícios do hidrogel como potencial ferramenta agrícola, principalmente, no que se diz respeito à eficiência no uso da água. Outro ponto positivo a

¹ ***Hidrogel: An Alternative to Sustainable Management of Agriculture***

² Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Técnica em Agronegócio pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), Especialista em Gestão Ambiental e Mestranda em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável dos Recursos Naturais (PPgUSRN) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Áreas de interesse: Licenciamento e Monitoramento Ambiental; Geoprocessamento; Irrigação Agrícola e Paisagística; Agricultura Sustentável; Fruticultura; Produção de Culturas Agrícolas; Fertilidade do Solo; Adubação Orgânica, Pós-colheita. ORCID: 0000-0001-9958-8331; E-mail: thaliana_felix@hotmail.com

³ Engenheira Agrônoma e Mestre em Agronomia (Ciências do Solo) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFEPE), Doutora em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente é docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Natal Central (CNAT/IFRN). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Microbiologia e Bioquímica do Solo. Áreas de interesse: microbiologia do solo, poluição do solo e recuperação de áreas degradadas. ORCID: 0000-0001-6642-3880; E-mail: fabiola.carvalho@ifrn.edu.br

destacar, é referente ao uso conjunto de técnicas agrícolas de manejo do solo com hidrogel, corroborando para um sistema agrícola mais sustentável, com melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e preservação ambiental. No entanto, informações relacionadas a recomendação de doses para aplicação de hidrogéis ou sobre sua viabilidade econômica, ainda são escassas, sendo indispensável preencher de forma confiável estas lacunas, a partir da consolidação de novos estudos sob condições de campo.

Palavras-chave: Hidrorretentor. Capacidade de retenção de água. Sustentabilidade. Polímero absorvente. Manejo agrícola.

Abstract

Water is the most important resource for plant growth and development, and it is necessary to implement alternatives that optimize its use and sustainable agricultural management. In this sense, hydrogels represent a technological alternative, as they play important roles in agriculture, regulating the availability of water and nutrients to plants, in addition to influencing the water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. In order to carry out a literature review on the use of hydrogels in agriculture, this exploratory research used, in addition to the CAPES and SciELO databases, complementary materials on the subject. After reading and sorting, the discussion of the revised works resulted in the grouping of three categories: sustainable agricultural management; agricultural hydrogel and its properties; use of hydrogel in agricultural crops. The literature consulted reports several benefits of the hydrogel as a potential agricultural tool, especially with regard to the efficiency of water use. Another positive point to be highlighted is related to the joint use of agricultural techniques for soil management with hydrogel, contributing to a more sustainable agricultural system, with better use of available resources and environmental preservation. However, information related to the recommendation of doses for the application of hydrogels or about their economic viability are still scarce, and it is essential to reliably fill these gaps, based on the consolidation of new studies under field conditions.

Keywords: Hydroretainer. Water Retention Ability. Sustainability. Absorbent Polymer. Agricultural Dealing.

1 INTRODUÇÃO

A atividade agropecuária apresenta grande importância econômica e o aumento da produção agrícola mundial tem intensificado o uso dos recursos naturais. Segundo WWAP (2021) a agricultura usa a maior parte da água doce do mundo, havendo, portanto, necessidade eminente de uma melhor gestão desse recurso, de forma que as adaptações dos processos produtivos, otimizem a produção vegetal e o uso dos recursos naturais.

A região Nordeste do Brasil apresenta baixos índices pluviométrico e com irregularidade no espaço-tempo (Neto et al., 2020), ocorrendo prejuízos agrícolas consideráveis quando existe déficit hídrico, limitando e comprometendo crescimento e a produtividade dos cultivos. Vários são os recursos que as plantas necessitam, mas a água, frequentemente, consiste no mais limitante, uma vez que o déficit hídrico pode afetar as plantas durante as fases de crescimento vegetativo e reprodutivo (Taiz et al., 2017).

Um das opções para contornar o déficit hídrico é referente ao uso do hidrogel, pois seu uso possibilita a retenção de água no substrato, minimizando os problemas relacionados ao déficit de água na agricultura (Prevedello e Loyola, 2007). Em razão de sua composição, esse material se altera com a hidratação e consegue absorver e liberar ampla quantidade de soluções solúveis, agindo como uma reserva de água. (Brito et al., 2013), que é liberada de forma mais lenta e regular para as plantas (Bernardi et al., 2012).

Em referência aos seus inúmeros benefícios às plantas e resultado final alcançado através de suas características de eficiente retenção, os hidrogéis agrícolas ganharam espaço nos últimos anos, apresentando-se como alternativa tecnológica tanto no aspecto econômico, quanto ambiental. (Klein e Klein, 2015), contudo, Pereira et al. (2018) chama atenção para a necessidade da escolha correta da proporção de hidrogel a se utilizar, a fim de que haja o uso eficiente dos recursos disponíveis e comprovada viabilidade econômica.

Nesse contexto, é essencial implementar alternativas e práticas sustentáveis que proporcionem maior controle, aproveitamento e economia no uso da água. Assim, alternativas e tecnologias que possam otimizar o uso dos recursos hídricos nos cultivos agrícolas devem ser averiguadas, buscando elevar ao máximo a produtividade, através de técnicas de manejo sustentável.

Para a consolidação do estudo, a pesquisa partiu do seguinte questionamento: “Como o uso do hidrogel pode contribuir para os cultivos agrícolas, de forma prática, sustentável e economicamente viável?”. Portanto, objetivou-se realizar um estudo exploratório, elaborado a partir de uma revisão da literatura, a qual agrupa e avalia criticamente uma síntese dos resultados de diferentes estudos primários, alçando as principais informações técnicas atuais quanto a aplicabilidade do uso do hidrogel nos cultivos agrícolas, sob a perspectiva de economia hídrica, apreciando a importância do uso sustentável de recursos naturais.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa trata-se de um estudo exploratório, realizado a partir de uma revisão da literatura, a qual agrupa e avalia criticamente uma síntese dos resultados de diferentes estudos primários (Cordeiro, 2007). Esta revisão aborda as principais informações técnicas atuais quanto a aplicabilidade do uso do hidrogel nos cultivos agrícolas.

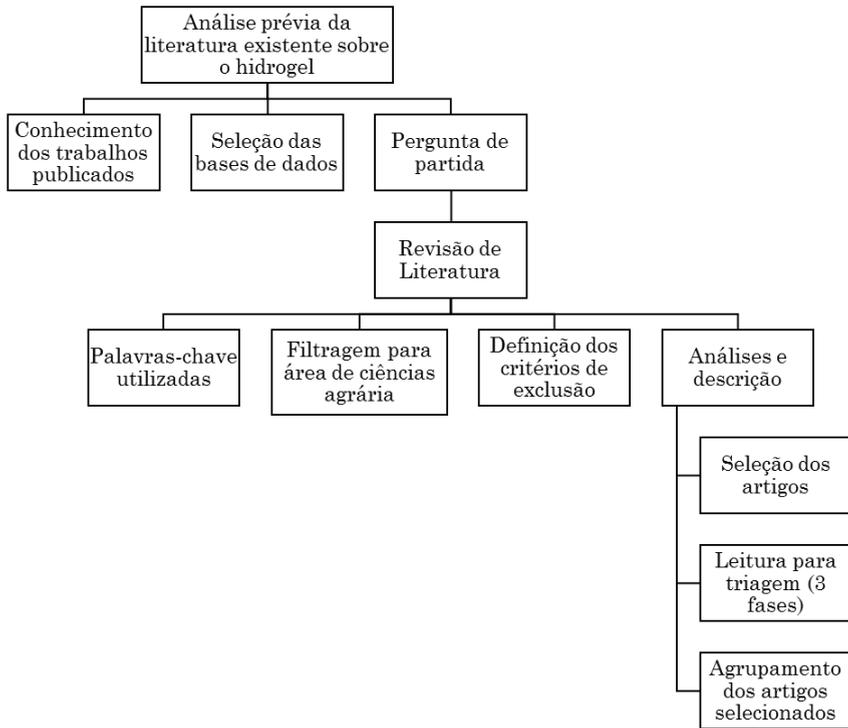
Executada no período de março de 2019 a outubro de 2021, onde foi inicialmente realizada uma análise prévia da literatura existente sobre o tema, através de pesquisas e leituras auxiliares para interação com o assunto. Reconhecido os trabalhos realizados na área, os artigos foram acessados por meio das bases de dados que compõem o Portal de Periódicos da CAPES e SciELO, além de outros materiais complementares sobre o tema.

Para a concretização desta revisão, as palavras-chave utilizadas foram “hidrogel” e “polímeros absorventes” e em inglês, “*hydrogel*” e “*absorbent polymers*”. Em todos os casos, a pesquisa foi com filtragem para área de ciências agrárias/agricultura.

Os critérios de descarte adotados foram: artigos publicados antes do ano 2010 e artigos que não possuíam no título, resumo ou no texto o assunto abordado nesta pesquisa e/ou os que se referiam ao uso de hidrogel para outras finalidades que não fosse o agrícola.

A partir da análise prévia, foram selecionados os artigos que atendiam aos critérios definidos, posteriormente triados e por fim, agrupados por categoria de estudo (Fluxograma 1).

Fluxograma 1 – Etapas do desenvolvimento metodológico da revisão.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Nos dois portais de dados, foram selecionados inicialmente 86 (oitenta e seis) artigos. Desse total, 52 (cinquenta e dois) foram encontrados na CAPES e 34 (trinta e quatro) encontrados na SciELO. Os estudos identificados foram submetidos a processo de triagem e selecionados a partir de 3 (três) fases:

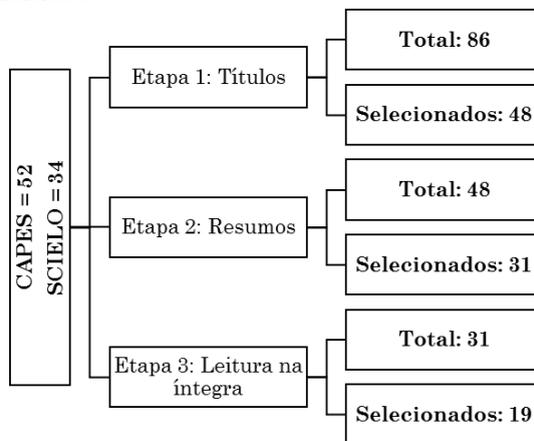
a) A primeira fase foi a de leitura dos títulos dos artigos, após esse procedimento, identificou-se a repetição deles nos diferentes portais e outros não tinham equivalência com o estudo. Dessa forma, foram selecionados 48 (quarenta e oito) artigos para a leitura do resumo e excluídos os que se referiam ao uso de hidrogel para outras finalidades.

b) A segunda fase correspondeu a leitura dos resumos e leitura dinâmica dos artigos selecionados na fase anterior. Após análise, foram selecionados 31 (trinta e um) artigos que mais se adequaram a proposta do trabalho.

c) Por fim, na terceira fase, os selecionados na fase anterior foram lidos na íntegra. De acordo com os estudos abordados, 19 (dezenove) artigos foram selecionados para discussão dos trabalhos. Os demais artigos, serão usados no embasamento teórico no decorrer da pesquisa. (Fluxograma 2).

Todas as informações desses trabalhos foram analisadas de forma detalhada. Foram considerados os seguintes pontos: autor, ano, objetivo do estudo, metodologia aplicada e os resultados.

Fluxograma 2 - Resultados da busca nos portais de dados e seleção de artigos pertinentes e selecionados após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 MANEJO AGRÍCOLA SUSTENTÁVEL

A crescente demanda por alimentos, após a Revolução Verde, transformou o cenário da agricultura tanto brasileira quanto mundial, que resultou em aumento da exploração dos recursos indispensáveis como o solo e a água. Segundo a FAO (2019) o solo é base para a produção de alimentos, desempenhando inúmeras funções, dentre elas o fornecimento de nutrientes e o armazenamento de água. Diante disso, a visão sustentável dentro da produção agrícola se estende, principalmente, no que se diz respeito à mitigação de impactos negativos gerados em consequência da exploração e esgotamento dos

recursos naturais, principalmente nos componentes solo e água (Stieven et al. 2020).

O manejo do solo inapropriado, causado pelas práticas exploratórias, resulta em perdas significativas em toda cadeia produtiva. A degradação e baixa produtividade de áreas de cultivo antes vigorosas, estimulou o desenvolvimento de técnicas para restabelecer a integridade do solo, com a finalidade de barrar a abertura de novas áreas para exploração agropecuária (Balbinot et al., 2020). A técnica do sistema de plantio direto, com menor grau de revolvimento do solo, e sistemas integrados de produção agropecuária (Stefanoski et al., 2013), como o sistema agrossilvipastoril ou agroflorestal (Gonçalo Filho et al., 2018), são ferramentas do manejo sustentável difundidas no campo agrário.

Outro fator de forte influência na produção agrícola, consiste na utilização e disponibilidade dos recursos hídricos. A escassez de água é uma realidade para vários locais do Brasil e seu uso deve ser conduzido de forma racional e otimizada, que agregado com o manejo correto do solo, gera consideráveis avanços para que o desenvolvimento sustentável da agricultura seja conquistado (Stefanoski et al., 2013; Melo et al., 2019).

3.2 HIDROGEL AGRÍCOLA E SUAS PROPRIEDADES

Os hidrogéis, também conhecidos como hidrorretentores, polímeros hidroabsorventes ou polímeros superabsorventes, são pequenos fragmentos secos e granulados que correspondem a uma classe significativa dos materiais poliméricos. Compostos por estruturas reticuladas tridimensionais oriundas de polímeros hidrofílicos lineares ou ramificados interligados - química ou fisicamente, esse material apresenta grande poder de absorção de água e fluídos biológicos sem modificação estrutural, formando um tipo de gel (Prevedello e Balena, 2000; Guilherme et al., 2015; Sabadini, 2015).

A sua superfície porosa possui alta capacidade de distensão volumétrica (Nasser et al., 2007), assim, esses polímeros possuem condições de retenção de líquidos em até 400 vezes sua massa seca. O seu uso favorece a retenção de água no substrato, minimizando os problemas relacionados ao déficit de água na agricultura (Prevedello; Loyola, 2007), devido aos ciclos de absorção e liberação de água de forma mais lenta e regular para as plantas (Bernardi et al., 2012).

No processo de intumescimento do hidrogel, a água ocupa todos os espaços vazios da rede tridimensional do polímero, por meio de ligações íon-dipolo com os grupos carregados eletricamente e ligações mais fracas com a parte menos hidrofílica do polímero. Essas interações moleculares estão condicionadas ao tipo de material de origem, sendo fator modulador nas variáveis intrínsecas do produto, tais como porosidade, toxicidade e grau de intumescimento (Guilherme et al., 2015).

A variação da capacidade de retenção do hidrogel está condicionada à presença dos grupos hidrofílicos (-OH-, -CONH-, -COO- e -SO₂ H-) em sua composição, pois enquanto, os fenômenos osmóticos exercem forte influência na capacidade de expansão do material, a presença da força elástica limita esse fluxo de soluto para dentro do hidrogel (Yonezawa et al., 2017).

Os hidrogéis podem ser classificados como sintéticos ou naturais (Ahmed, 2015), os sintéticos provenientes das reações de polimerização de monômeros sintéticos (acrilamida, ácido metacrílico), já os naturais obtidos a partir de polímeros de origem natural, como alginato, quitosana, amido, ácido hialurônico, entre outros (Bortolin, 2014). Estima-se que os hidrogéis agrícolas ofertados no comércio, em sua maioria, são sintéticos produzidos à base de acrilatos, material de fácil produção e custo de aquisição, no entanto, resistentes à decomposição por microrganismos, dessa forma, menor degradabilidade (Montesano et al., 2015; Sabadini, 2015).

Os hidrogéis naturais podem apresentar propriedades mecânicas não satisfatórias (Bortolin et al., 2012), mas com os avanços científicos, observa-se que a combinação das suas classes de hidrogéis - sintéticos e naturais - resulta em um produto melhorado nesse aspecto, além de se tornar uma alternativa biodegradável e com menor custo para produção agrícola (Bortolin, 2014; Ahmed, 2015; Bortolin et al., 2016).

Neethu et. al (2018) afirmam que o hidrogel sofre ação dos raios ultravioleta com formação de oligômeros - estrutura com pequena parte de monômeros formadores do composto, no entanto, não apresentam potencial de bioacumulação pela planta, devido ao tamanho das moléculas impossibilitarem a absorção do material.

O uso da tecnologia do hidrogel para fins agrícolas ganhou destaque no final dos anos 1980, com a perspectiva de melhorar as propriedades físicas do solo, por meio do aumento na capacidade de

armazenamento de água e redução da condição de estresse hídrico sofrido pela planta em períodos de seca (Neethu et al., 2018; Saha et al., 2020), que contribui para reduzir o uso de recursos naturais, e consequente desenvolvimento de um sistema agrícola mais sustentável.

De forma geral, com o intumescimento do hidrogel, água e nutrientes se encontram retidos no interior do material e são liberados lentamente para as raízes. A partir desse fator, técnicas utilizando o hidrogel são desenvolvidas de modo a proporcionar a liberação controlada de micro e macrominerais à matriz do solo (Bortolin et al., 2016; Skrzypczak et al., 2019; Abdallah, 2019; Melo et al., 2019). Akalin e Pulat (2019) indicaram que hidrogéis de k-carragenina possuem excelentes parâmetros de intumescimento, degradação e propriedades morfológicas, ao mesmo tempo que atendem as necessidades de controle liberado dos micronutrientes cobre e manganês.

Solos arenosos de ambientes áridos e semiárido apresentam os maiores obstáculos para o desenvolvimento e crescimento das plantas. A redução da capacidade de retenção hídrica, associada à rápida percolação de água e nutrientes, causam uma condição de estresse hídrico. Nessa perspectiva, os hidrogéis são importantes, pois desenvolvem o papel condicionador do solo, por influenciarem positivamente nas características físico-químicas do solo (Saha et al., 2020).

Na Região Nordeste do Brasil, além das limitações quanto as características de solo, segundo Neto et al. (2020) os baixos índices pluviométricos associado com irregularidade no espaço-tempo, que resulta em água alta concentração de sais. Gervásio e Frizzone (2004) indicaram redução no poder de retenção de água no polímero em ambientes com excesso de sais, segundo Brito et al. (2013) ocorre devido ao equilíbrio dos sais em função da pressão osmótica e potencial de dilatação do polímero. A presença de íons móveis entre o polímero e solução exercem acréscimo nas interações iônicas, o que proporciona menor expansão do hidrogel em ambiente salino (Neto et al., 2017).

3.3 USO DO HIDROGEL NOS CULTIVOS AGRÍCOLAS

O uso de hidrogéis nas ciências agrárias ocorreu por volta do ano de 1950 e, embora ainda seja pouco comum, essa alternativa de manejo já

provoca o interesse dos agricultores, por apresentar efeitos benéficos quando pensamos na diminuição da perda de nutrientes por lixiviação, melhoria nas trocas catiônica e melhor oferta de água para as plantas devido sua capacidade de absorção (Azevedo et al., 2008; Bakass et al., 2001; Ekebafé et al., 2011).

O manejo do solo com o auxílio do hidrogel pode ser observado em inúmeros estudos do seguimento agrícola, dentre eles, a silvicultura, fruticultura e olericultura. A utilização de hidrogel além de reter água, diminuem também a perda dos nutrientes por lixiviação, sendo a redução da lixiviação dos nutrientes consequência da sua alta capacidade de troca catiônica apresentada pelos hidrogéis (Taylor e Halfacre, 1986). Tais benefícios estes que propiciam maior aporte nutricional as plantas, logo, com o favorecimento do crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os hidrogéis são definidos como condicionadores de solo e sua função tem sido apontada para o aumento da capacidade de retenção hídrica do solo. Consequentemente, ajustando o uso mais eficaz dos recursos naturais, viabilizando o progresso na rentabilidade de cultivos agrícolas (Oliveira et al., 2004), com a minimização na periodicidade de uso de água via irrigação.

Os hidrogéis mais usados na agricultura brasileira são os sintéticos, onde os fabricantes recomendam basicamente sua aplicação de duas maneiras no substrato, de forma direta, com os polímeros em seu estado seco, para ser hidratado posteriormente no local de cultivo (Lima e Souza, 2011) ou com os polímeros já em forma de gel, já hidratados anteriormente para em seguida serem depositados no substrato e/ou em volta do sistema radicular da planta (Dranski et al., 2013).

Ao ser associado a irrigação e utilizado em algumas culturas seu uso maximiza a eficiência hídrica, pois possui a capacidade de reter e disponibilizar a água gradualmente para as raízes das plantas mais próximas (Carvalho, 2016) e esses polímeros também são utilizados com o intuito de liberação mais lenta de fertilizantes (Rabat et al., 2016).

O emprego de hidrogel vem adquirindo reconhecimento, por meio da contribuição ao nível de planta, influenciando vários aspectos do solo, como a permeabilidade, densidade, estrutura, textura, evaporação e as taxas de infiltração da água no solo (Jabari et al., 2019), com estudos desenvolvidos em diversas áreas da agricultura

que demonstram os efeitos positivos do uso em diferentes regiões do Brasil (Dusi, 2005; Bernardi et al., 2012; Mews et al., 2015; Bartieres et al., 2016), mas as regiões de baixa disponibilidade hídrica e longos períodos de estiagem, condições ambientais que interferem negativamente no crescimento das plantas, são as mais indicadas para a utilização de hidrogéis (Azevedo et al., 2008).

Os estudos levantados nos últimos anos demonstram variabilidade na utilização do hidrogel, no entanto, ainda são incipientes para responder lacunas a respeito deste produto, principalmente no que se diz respeito a quantificação do produto a ser aplicado e viabilidade econômica do uso.

A relação de artigos que avaliaram o efeito da aplicação de hidrogel na capacidade de retenção hídrica no solo, contribuição no crescimento e desenvolvimento vegetal e viabilidade econômica do uso está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Relação de artigos que destacam os benefícios do uso do hidrogel na retenção hídrica no solo e no crescimento e desenvolvimento da planta

AUTOR	TÍTULO	PERIÓDICO	FONTE DE DADOS
Saad et al. (2009)	Manejo hídrico em viveiro e uso de hidrogel na sobrevivência pós-plantio de <i>Eucalyptus urograndis</i> em dois solos diferentes	Engenharia Agrícola	CAPES
Lopes et al. (2010)	Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de <i>Eucalyptus urograndis</i> produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos.	Ciênc. Florestal	SciELO
Bernardi et al. (2012)	Crescimento de mudas de <i>Corymbia citriodora</i> em função do uso de hidrogel e adubação.	CERNE	SciELO
Carvalho et al. (2013)	Frequência de irrigação utilizando polímero hidroabsorvente na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo.	Revista Brasileira de Fruticultura	CAPES
Dranski et al. (2013)	Sobrevivência e crescimento do pinhão-manso em função do método de aplicação e formulações de hidrogel.	Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	CAPES
Marques et al. (2013)	Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de caféiro.	Ciência Rural	CAPES
Mendonça et al. (2013)	Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo	Water Resources and Irrigation Management- WRIM	CAPES
Mews et al. (2015)	Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de <i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.)	Floresta e Ambiente	SciELO

	Mattos.		
Navroski et al. (2016)	Redução da adubação e melhoria das características do substrato com o uso do hidrogel na produção de mudas de <i>Eucalyptus Dunnii</i> Maiden.	Ciênc. Florestal	SciELO
Fonseca et al. (2017)	Viabilidade do Hidrogel na Recuperação de Cerrado sensu stricto com Espécies Nativas	Floresta ambiente e	CAPES
Fernández e Gallo (2018)	Absorción de água de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo.	Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo	CAPES
Guimarães et al. (2018)	Análise de custos e desempenho agrônomo na produção de alface submetida a níveis de irrigação e uso de hidrorretentor	Revista Irriga	CAPES
Melo et al. (2019)	Utilización de hidrogel nanocompuesto con N-urea en sustrato para producción de plántulas de pimentón.	Embrapa Hortaliças	CAPES
Matos Filho et al. (2020)	Níveis de irrigação associados a doses de hidrogel na cultura do pimentão.	Revista Brasileira de Agricultura Irrigada	CAPES
Nascimento et al. (2020)	Aspectos gerais da palma forrageira e alternativas de manejo: uma associação do hidrogel agrícola e da adubação foliar.	Nutritime Revista Eletrônica	CAPES
Neto et al. (2020)	Allometry and morphophysiology of papaya seedlings in a substrate with polymer under irrigation with saline water	Comunicata Scientiae	CAPES
Pereira et al. (2018)	Retenção de água e desenvolvimento do feijão caupi em função do uso de polímero hidrorretentor no solo.	Revista Engenharia na Agricultura	CAPES
Silva et al. (2019)	Irrigation levels and use of hydro retainer polymer in greenhouse lettuce production.	Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	CAPES
Zinivand et al. (2020)	Assessment of superabsorbent polymer effect on water use efficiency of plant under water deficit conditions.	Tecnología y Ciencias del Agua	CAPES

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

3.3.1 Hidrogel na retenção hídrica, crescimento e desenvolvimento das plantas

Em um estudo conduzido por Fernández e Gallo (2018), avaliando o uso de polímero de acrilamina de potássio (PAP) em três tipos de solos, verificaram capacidade absorviva de 103ml de água por cada grama de material, bem como porcentagem de umedecimento de 14,7%, 14,5% e 17,4% para os solos arenosos, húmiferos e argilosos respectivamente, o que evidencia um comportamento variável em

função da textura do solo. Segundo os autores, o hidrogel, em condições de solo saturado, não se altera, no entanto, mediante déficit hídrico onde está, esse composto transfere seu conteúdo de água para o solo.

Matos Filho et al. (2020) avaliaram *Capsicum annuum* L., sob diferentes níveis de irrigação associados a doses de hidrogel, o experimento por ter sido desenvolvido em solo argiloso não demonstrou diferença significativa na produção e qualidade dos frutos quanto a aplicação de hidrogel. Esse resultado reforça a utilização do polímero em solos mais porosos com alta poder de drenagem das águas, a exemplo dos solos arenosos do semiárido brasileiro.

Ao realizar uma revisão de literatura sobre o uso de hidrogel como alternativa complementar de manejo do cultivo de palma forrageira na região do semiárido nordestino brasileiro, Nascimento et al. (2020), averiguaram que a literatura destaca o hidrogel como alternativa favorável e benéfica aos sistemas produtivos, e que o hidrogel permite maior redução no fornecimento de água em casos de deficiência hídrica. Conforme os autores, acredita-se que o uso do polímero de forma complementar a irrigação seja mais viável em uma quantidade do produto de pelo menos 6g por planta, sendo necessário, contudo, precisar uma metodologia adequada à aplicação.

Pereira et al. (2018) em pesquisa realizada com o feijão-caupi ou de corda, avaliaram o potencial agrícola do polímero hidrorretentor na retenção de água, variáveis biométricas e produtivas da planta semeados em solo de textura arenosa, observou-se que o uso do polímero proporcionou maior acúmulo de água no solo, possibilitando melhores condições de vigor e crescimento vegetativo, em específico para as proporções de 1,5; 2,0 e 4,0g de polímero por litro de solo.

Em estudo semelhante, Zinivand et al. (2020) trabalharam com o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) em uma região árida do Irã e observaram efeito positivo do polímero superabsorvente aliado a moderado déficit hídrico em relação a eficiência no uso da água e rendimento de grãos, em virtude do poder de retenção e otimização dos recursos, demonstrando, como resultado, melhores condições ambientais para desenvolvimento produtivo e reprodutivo da planta. A redução na velocidade de evapotranspiração e maior disponibilidade de água no solo quando utilizado polímeros superabsorventes são fatores que se sobressaem em relação a solos sem o material (Wang e Wang, 2010).

Buscando alternativas para uso racional dos recursos hídricos, Silva et al. (2019) empregaram diferentes níveis de irrigação associadas a doses de solução hidrorretentora, que variaram de 0, 50, 100 e 200 g planta⁻¹, no cultivo de alface crespa cv. Vanda (*Lactuca sativa* L) e observaram interferência positiva do polímero nos parâmetros produtivos com maiores medidas estimadas na dose de 157,49 g, associada a irrigação controlada. Guimarães et al. (2018) trabalhando com alface crespa cultivar Vanda, constataram aumento da produtividade e da eficiência do uso da água com o aumento da dose de polímero hidrorretentor.

Lopes et al. (2010), ao avaliarem a utilização do polímero (Hydroplan®-EB) na sobrevivência de mudas clonais de *Eucalyptus urograndis*, produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos, observaram influência do hidrogel, onde a aplicação garantiu a sobrevivência por 37 dias sem irrigação adicional, concluindo que o polímero exerceu influência positiva sobre o controle hídrico e, conseqüentemente, maior resistência das plantas.

Ao estudarem o efeito da utilização do hidrogel (Hidroterragel®) no plantio de mudas de pinhão-mansinho nos aspectos de sobrevivência e crescimento inicial das plantas, Dranski et al. (2013), observaram aumento na sobrevivência das mudas com aplicação de 7,0 g L⁻¹ de hidrogel introduzido diretamente na cova, enquanto doses superiores aplicadas demonstraram efeito negativo, com redução do crescimento das mudas.

Em estudo avaliando substratos com diferentes dosagens de hidrogel, Carvalho et al. (2013) observaram melhores resultados e concluíram que houve redução na necessidade de irrigação e aceleração no desenvolvimento de mudas de maracujazeiros em substrato contendo uma dose de 3 g L⁻¹ hidrogel (Hydroplan®-EB/HyB-M). Marques et al. (2013) aplicaram doses crescentes de hidrogel (0,0; 1,0; 2,0 e 3,0g por saco de polietileno), e observaram desempenho similar das mudas de cafeeiro cultivadas com 2g de hidrogel (Hydroplan-EB®) no substrato em relação às mudas em condições de irrigação convencional.

Neto et al. (2020) avaliaram a combinação do polímero absorvente de água (0,0; 0,2; 0,6; 1,0, e; 1,2 g dm⁻³), a condutividade elétrica da água de irrigação (0,3; 1,1; 2,7; 4,3 e; 5,0 dS m⁻¹), frequências de irrigação (diária e alternada) e mais dois tratamentos adicionais (0,75 e 1,30 dm³) para estudar os efeitos dos volumes dos

recipientes, nos índices alométricos e morfofisiológicos de mudas de mamoeiro (*Carica papaya*) cultivar ‘Sunrise Solo’ e concluíram que a frequência diária de irrigação com água com condutividade elétrica de até 2,6 e 1,9 dS m⁻¹ deve ser priorizada, quando irrigado diariamente ou em dias alternados, respectivamente, e 0,6 g dm⁻³ de polímero.

Navroski et al. (2016), avaliaram a redução da adubação na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em função do uso de hidrogel, sendo identificadas respostas positivas em relação à qualidade do solo, no que concerne suas propriedades físicas e químicas, obtendo-se com a utilização do polímero uma redução de 50% no uso de adubação.

Em pesquisa semelhante, Bernardi et al. (2012), observaram ganhos significativos com o incremento de hidrogel, ao avaliar o efeito do crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em diferentes doses aplicadas de adubação. O resultado obtido foi uma redução cerca de 20% da adubação, com efeitos significativos nas variáveis de altura, diâmetro de colo, proporção altura/diâmetro das plantas.

Ao avaliarem o desempenho de mudas de pimenta submetidas a diferentes concentrações de hidrogel nanocompostos com N-ureia (HU) ao substrato, Melo et al. (2019) observaram que a dose de 40% de HU foi benéfica para a maioria das variáveis analisadas. Uma das preocupações dos autores se configurava nos efeitos de fitotoxicidade relacionada a presença do nitrogênio, no entanto, a utilização do polímero proporcionou a liberação lenta deste nutriente ao solo, sem danos às mudas, evidenciado pelos efeitos benéficos para a maioria das variáveis avaliadas nas plantas de pimentão. Mews et al. (2015) observaram melhores resultados de crescimento e qualidade de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) em doses de 2 a 4g de hidrogel (ForthGel®) associadas a ureia.

3.3.2 Viabilidade econômica do hidrogel no manejo agrícola

No Brasil e em alguns países, os hidrogéis notadamente traçam um caminho promissor no realce do seu emprego, com base nos benefícios (Ahmed, 2015; Navroski et al., 2015). Nesse sentido, a utilização na agricultura tem o propósito de causar impactos relevantes, onde a utilização como condicionadores de solo com contribuição nas melhorias físico-químicas do solo, como melhorias na capacidade de retenção de água e nutrientes no solo (Saad et al., 2009), o que

proporciona um ambiente com maior potencial no atendimento das exigências das plantas, ao mesmo tempo, em que reduz os custos de produção, devido a menor necessidade de irrigação e maior espaçamento entre adubações.

As ferramentas tecnológicas sempre apresentam pontos positivos e negativos, apesar da potencial contribuição dos hidrogéis na agricultura seu custo ainda é elevado, diante disso, Pereira et al. (2018) alerta para ser feita a escolha correta da proporção de hidrogel a se utilizar, com a avaliação dos custos existentes no sistema de produção adotado e no que se deseja adotar, para ocorrer a utilização racional e eficiente dos recursos disponíveis. O próprio autor observou a viabilidade do uso do polímero hidroretentor desde que com uma aplicação seja realizado mais de dois plantios de feijão-caupí por ano. Guimarães et al. (2018) compararam os níveis de irrigação e uso de hidrorretentores sobre os fatores de custos e desempenho agrônomo na produção de alface crespa em condições ambientais controladas, concluindo que a lucratividade decresceu com a utilização do polímero, mesmo com os ganhos significativos na produtividade e eficiência do uso da água. Vale ressaltar que o autor considerou apenas um cultivo, porém a vida útil do hidrogel segundo Saad et al. (2009) é de 1 a 5 anos, assim, talvez com a realização de mais cultivos sem a necessidade de nova aplicação de hidrogel e com os benefícios constatados, resulte em aumento da lucratividade.

Ao analisar o hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo, foi constatada a viabilidade econômica do uso do polímero até a dose de 4 g, metade da dose recomendada pelo fabricante (Mendonça et al., 2013). Fonseca et al. (2017), ao estudar a viabilidade econômica do uso do hidrogel com espécies nativas, constatou que pelos dados obtidos de mortalidade das mudas, na estação seca no tratamento que utilizou hidrogel houve menor taxa de perda quando comparado ao tratamento sem o uso do polímero. Dessa forma, com a necessidade de reposição das mudas perdidas, o custo aumenta consideravelmente, o que torna o uso do hidrogel viável na condição de escassez de água. Já na estação chuvosa, seu uso pode ser dispensável, pois não houve diferença significativa nos resultados de mortalidade.

4 CONCLUSÕES

Os benefícios dos hidrogéis na agricultura brasileira são evidentes diante da literatura revisada neste trabalho. Essa tecnologia torna-se uma potencial ferramenta subsidiária ao desenvolvimento da agricultura familiar, além de representar uma alternativa ambientalmente correta, tendo em vista a possibilidade do uso racional e otimização dos recursos hídricos.

O uso de hidrogel nos cultivos contribui para aumentar a capacidade de retenção de água do solo, manutenção da umidade do solo, otimização do sistema de irrigação, e conseqüentemente, favorece o crescimento e desenvolvimento vegetativo, visto que a água é fator limitante no sistema produtivo agrícola.

De forma geral, ao considerar que as plantas embora possuam comportamentos semelhantes quanto a absorção de água, ainda que cada cultura tenha suas particularidades, na recomendação de uso do hidrogel, torna-se indispensável a consolidação de novos estudos, principalmente com análise de dados referentes a experimentos em campo, para gerar resultados mais confiáveis e fidedignos.

No entanto, mesmo com os trabalhos relacionados aos efeitos positivos do hidrogel, sobretudo quando relacionados a gestão de resíduos e otimização do uso dos recursos hídricos, escassas são as pesquisas que consideram a sua viabilidade econômica. Assim, conclui-se a partir do presente estudo que é necessário considerar na análise de recomendação deste produto, de modo que seu uso seja economicamente viável, a sua vida útil, observando seu potencial de reuso, a estimativa correta da dosagem a ser aplicada, as particularidades das condições edafoclimáticas presentes e os incrementos de produtividade obtidos, pois se trata de um insumo com custo elevado para o agricultor.

REFERÊNCIAS

1. Abdallah, Ahmad M. "The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress". *International Soil and Water Conservation Research* 7, n.º 3 (setembro de 2019): 275–85. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.001>.
2. Ahmed, E. M. "Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review". *Journal of Advanced Research* 6, n.º 2 (março de 2015): 105–21. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>.

3. Akalin, G. O., e Pulat. M. "Preparation and characterization of κ -carrageenan hydrogel for controlled release of copper and manganese micronutrients". *Polymer Bulletin* 77, n.º 3 (maio de 2019): 1359–75. <https://doi.org/10.1007/s00289-019-02800-4>.
4. Azevedo, T. L. de F., Bertonha, A., Gonçalves, A. C. A., de Freitas, P. S. L., Rezende R. e Frizzone. J. A. "Níveis de polímero superabsorvente, frequências de irrigação e crescimento de mudas de café". *Acta Scientiarum. Agronomy* 24 (abril de 2008): 1239. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2271>.
5. Bakass, M., Mokhlisse A. e Lallemand, M. "Absorption and desorption of liquid water by a superabsorbent polymer: Effect of polymer in the drying of the soil and the quality of certain plants". *Journal of Applied Polymer Science* 83, n.º 2 (novembro de 2001): 234–43. <https://doi.org/10.1002/app.2239>.
6. Balbinot, M., Conceição, P. C., Wagner Junior, A., Haskel, M. K., e Stumpf, L. "Sistemas de manejo do solo sobre a produção e qualidade dos pêssegos Chimarrita e Premier". *Research, Society and Development* 9, n.º 10 (outubro de 2020): e7939109068. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9068>.
7. Bartieres, E. M. M., Carnevali, N. H. de S., Lima, E. de S., Carnevali T. O. e Mallmann, V. "Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto". *Pesquisa Florestal Brasileira* 36, n.º 86 (junho de 2016): 145. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.86.990>.
8. Bernardi, M. R., Sperotto Junior, M., Daniel, O. e Vitorino, A. C. T. "Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação". *CERNE* 18, n.º 1 (março de 2012): 67–74. <https://doi.org/10.1590/s0104-77602012000100009>.
9. Bortolin, A. "Desenvolvimento de nanocompósitos baseados em hidrogéis aplicados à liberação de nutrientes agrícolas". PublishedVersion, Universidade Federal de São Carlos, 2014. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/6607>.
10. Bortolin, A., Serafim, A. R., Aouada, F. A., Mattoso, L. H. C. e Ribeiro, C. "Macro- and Micronutrient Simultaneous Slow Release from Highly Swellable Nanocomposite Hydrogels". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64, n.º 16 (abril de 2016): 3133–40. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00190>.
11. Bortolin, A., Aouada, F. A., Longo, E. e Mattoso, L. H. C. "Investigação do processo de absorção de água de hidrogéis de polissacarídeo: efeito da carga iônica, presença de sais, concentrações de monômero e polissacarídeo". *Polímeros* 22, n.º 4 (agosto de 2012): 311–17. <https://doi.org/10.1590/s0104-14282012005000046>.
12. Brito, C. W. de Q., Rodrigues, F. H. A., Fernandes, M. V. da S., da Silva, L. R. D., Ricardo, N. M. P. S., Feitosa, J. P. A. e Muniz, E. C. "Síntese e caracterização de hidrogéis compósitos a partir de copolímeros acrilamida-acrilato e caulim: efeito da constituição de diferentes caulins do nordeste brasileiro". *Química Nova* 36, n.º 1 (2013): 40–45. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422013000100008>.
13. Carvalho, L. C. N. "Produção de mudas de açaí sob diferentes níveis de depleção de água associada a doses de um polímero hidroabsorvente". PublishedVersion, Universidade de São Paulo, 2016. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-09062016-184800/>.
14. Carvalho, R. P. de., Cruz, M. do C. M. e Martins, L. M. "Frequência de irrigação utilizando polímero hidroabsorvente na produção de mudas de maracujazeiro-

- amarelo". *Revista Brasileira de Fruticultura* 35, n.º 2 (junho de 2013): 518–26. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452013000200022>.
15. Cordeiro, A. M., Oliveira, G. M. de., Rentería, J. M. e Guimarães, C. A. "Revisão sistemática: uma revisão narrativa". *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgias* 34, n.º 6 (dezembro de 2007): 428–31. <https://doi.org/10.1590/s0100-69912007000600012>.
 16. Dranski, J. A. L., Pinto Junior, A. S., Campagnolo, M. A., Malavasi, U. C. e Malavasi, M. M. "Sobrevivência e crescimento do pinhão-manso em função do método de aplicação e formulações de hidrogel". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17, n.º 5 (maio de 2013): 537–42. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662013000500011>.
 17. Dusi, D. M. Efeito da adição do polímero hidrorretentor na eficiência da adubação nitrogenada no crescimento de *Brachiaria decumbens* CV. BASILISK, em dois diferentes substratos. PublishedVersion, Universidade Federal do Paraná, 2005.
 18. Ekebafe, L. O., Ogebeifun, D. E., & Okieimen, F. E. Polymer applications in agriculture. *Biokemistri*, 23, n.º 2 (junho de 2011): 81-89.
 19. FAO. Diretrizes Voluntárias para a Gestão Sustentável dos Solos. Roma (2019). accessed Sept 29, 2021, <http://www.fao.org/3/i6874pt/I6874PT.pdf>.
 20. Fernández, R. D. R. e Gallo, F. M. Absorción de agua de hidrogel de uso agrícola y su humedecimiento de tres tipos de suelo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 50, n.º 2 (dezembro de 2018): 15-21.
 21. Fonseca, L., Roitman, I., Jacobson, T. K. B., Ogata, R. S., Solari, R. A. F. e Ribeiro, R. J. da C. "Viabilidade do Hidrogel na Recuperação de Cerrado sensu stricto com Espécies Nativas". *Floresta e Ambiente* 24 (agosto de 2017). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.022716>.
 22. Gervásio, E. S. e Frizzone, J. A. "Caracterização físico-hídrica de um condicionador de solo e seus efeitos quando misturado a um substrato orgânico". *Irriga* 9, n.º 2 (agosto de 2004): 94–105. <https://doi.org/10.15809/irriga.2004v9n2p94-105>.
 23. Gonçalo Filho, F., Ferreira Neto, M., Fernandes, C. dos S., Dias, N. da S., Cunha, R. R. da e Mesquita, F. de O. "Efeitos do manejo sustentável da Caatinga sob os atributos físicos do solo". *Pesquisa Florestal Brasileira* 38 (dezembro de 2018). <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801581>.
 24. Guilherme, M. R., Aouada, F. A., Fajardo, A. R., Martins, A. F., Paulino, A. T., Davi, M. F. T., Rubira, A. F. e Muniz, E. C. "Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review". *European Polymer Journal* 72 (novembro de 2015): 365–85. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017>.
 25. Guimarães, J. J., Salomão, L. C., Silva, W. R., Oliveira, H. F. E., Pereira E Manoel, D. R. M. e Oliveira, H. R. de. "análise de custos e desempenho agrônômico na produção de alface submetida a níveis de irrigação e uso de hidrorretentor". *IRRIGA* 1, n.º 1 (setembro de 2018): 55–70. <https://doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p55-70>.
 26. Jabari, M., Ghyadah, R. A. e Alokely, R. "Recovery of hydrogel from baby diaper wastes and its application for enhancing soil irrigation management". *Journal of Environmental Management* 239 (junho de 2019): 255–61. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.087>.

27. Klein, C. e Klein, V. A. "Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo." *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas*, 19, n.º 1, (jan.-abr. 2015): 21-29. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117014990>
28. Lima, R. M. F. e Souza, V. V. "Polímeros Biodegradáveis: Aplicação na Agricultura e sua Utilização como Alternativa para a Proteção Ambiental". *Revista Agroambiental* 3, n.º 1 (abril de 2011). <https://doi.org/10.18406/2316-1817v3n12011303>.
29. Lopes, J. L. W., Silva, M. R. da., Saad, J. C. C. e Angélico, T. S. "Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos". *Ciência Florestal* 20, n.º 2 (junho de 2010). <https://doi.org/10.5902/198050981847>.
30. Marques, P. A. A., Cripa, M. A. M. e Martinez, E. H. "Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de café". *Ciência Rural* 43, n.º 1 (jan de 2013): 1–7. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782012005000129>.
31. Matos Filho, H. A., César, C. A., Silva, A. e Bastos, A. V. S. "Níveis de irrigação associados a doses de hidrogel na cultura do pimentão". *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 14, n.º 2 (junho de 2020): 3906–18. <https://doi.org/10.7127/rbai.v14n101096>.
32. Melo, R. A. C., Butruille, N. M. S., Jorge, M. H. A., Cajamarca, S. M. N. Utilización de hidrogel nanocompuesto con N-urea en sustrato para producción de plántulas de pimentón. *Bioagro* 31, n.º3, (2019): 167-176.
33. Mendonça, T. G., Urbano, V. R., Peres, J. G., Souza, C. F. "Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo". *Water Resources and Irrigation Management* 2, n.º 2, (maio-ago 2013): 87-92.
34. Mews, C. L., Sousa, J. R. L., Azevedo, G. T. O. S. e Souza, A. M. "Efeito do Hidrogel e Ureia na Produção de Mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos". *Floresta e Ambiente* 22, n.º 1 (março de 2015): 107–16. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.080814>.
35. Montesano, F. F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A. e Serio, F. "Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth". *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 4 (2015): 451–58. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>.
36. Nascimento, S. M., Aguiar, E. M., Lima, G. F. C., Novaes, L. P., Costa, P. R. "Aspectos gerais da palma forrageira e alternativas de manejo: uma associação do hidrogel agrícola e da adubação foliar." *Nutritime Revista Eletrônica* 17, n.º2, (mar - abr, 2020): 8681-8698.
37. Nasser, R. O., Lopes, G. K., Andrade, C. T., Teixeira, S. C. S. Correlação entre a capacidade de inchamento e as características estruturais de Polímeros Superabsorventes. In: 9º Congresso Brasileiro de Polímeros. Anais. Campina Grande. ABPol, 2007.
38. Navroski, M. C., Araujo, M. M., Fior, C. S., Cunha, F. S., Berghetti, A. L. P., Pereira, M. O. "Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunni* Maiden". *Scientia Florestal* 43, n.º 106 (jun 2015): 467-476.
39. Navroski, M. C., Araújo, M. M., Cunha, F. S., Berghetti, A. L. P., e Pereira, M. O. "REDUÇÃO DA ADUBAÇÃO E MELHORIA DAS CARACTERÍSTICAS DO SUBSTRATO COM O USO DO HIDROGEL NA PRODUÇÃO DE MUDAS

- DE *Eucalyptus dunnii* Maiden". *Ciência Florestal* 26, n.º 4 (dezembro de 2016): 1155. <https://doi.org/10.5902/1980509825106>.
40. Rabat, S. H. E Majid, R. "Efeito de diferentes monômeros nas propriedades de retenção de água do hidrogel fertilizante de liberação lenta." *Procedia Eng.* 148 (2016): 201 – 207.
 41. Neethu, T. M., P. K. Dubey e A. R. Kaswala. "Prospects and Applications of Hydrogel Technology in Agriculture". *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7, n.º 05 (maio de 2018): 3155–62. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.369>.
 42. Neto, E. C. N., Bezerra, F. T. C., Bezerra, M. A. F., Pereira, W. E., Cavalcante, L. F. e Oliveira, F. F. "Allometry and morphophysiology of papaya seedlings in a substrate with polymer under irrigation with saline water". *Comunicata Scientiae* 11 (julho de 2020): e3339. <https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3339>.
 43. Neto, J. L. L. M., Araújo, W. F., Chagas, E. A., Siqueira, R. H. S., Oliveira, G. A. e Rodriguez, C. A. "Hydrogels in Brazilian Agriculture". *REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE* 11, n.º 4 (outubro de 2017): 347. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i4.4130>.
 44. Oliveira, R. A., Rezende, L. S., Martinez, M. A. e Miranda, G. V. "Influência de um polímero hidroabsorvente sobre a retenção de água no solo". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 8, n.º 1 (abril de 2004): 160–63. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662004000100023>.
 45. Pereira, J. S., Olszewski, N. e Silva, J. C. "retenção de água e desenvolvimento do feijão caupi em função do uso de polímero hidrorretentor no solo". *REVISTA Engenharia na Agricultura - REVENG* 26, n.º 6 (dezembro de 2018): 582–91. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i6.857>.
 46. Prevedello, C. L., e Balena, S. P. "Efeitos de polímeros hidrorretentores nas propriedades físico-hídricas de dois meios porosos". *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 24, n.º 2 (junho de 2000): 251–58. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832000000200002>.
 47. Prevedello, C. L. e Loyola, J. M. T. "efeito de polímeros hidrorretentores na infiltração da água no solo". *Scientia Agraria* 8, n.º 3 (outubro de 2007): 313. <https://doi.org/10.5380/rsa.v8i3.8592>.
 48. Saad, J. C. C., Lopes, J. L. W. e Santos, T. A. dos. "Manejo hídrico em viveiro e uso de hidrogel na sobrevivência pós-plantio de *Eucalyptus urograndis* em dois solos diferentes". *Engenharia Agrícola* 29, n.º 3 (setembro de 2009): 404–11. <https://doi.org/10.1590/s0100-69162009000300007>.
 49. Sabadini, R. C. "Redes poliméricas de macromoléculas naturais como hidrogéis superabsorventes". PublishedVersion, Universidade de São Paulo, 2015. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75134/tde-10092015-110202/>.
 50. Saha, A., Sekharan, S. e Manna, U. "Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review". *Soil and Tillage Research* 204 (outubro de 2020): 104736. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>.
 51. Silva, W. R. da., Salomão, L. C., Pereira, D. R. M., Oliveira, H. F. E., Pereira, A. I. de A. e F. S. Cantuario. "Irrigation levels and use of hydro retainer polymer in greenhouse lettuce production". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23, n.º 6 (junho de 2019): 406–12. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p406-412>.

52. Skrzypczak, D., Mikula, K. e Witek-Krowiak, A. "Hydrogel capsules with alfalfa as micronutrients carrier". *SN Applied Sciences* 1, n.º 6 (maio de 2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0575-4>.
53. Stefanoski, D.C., Santos, G. G., Marchão, R. L., Petter F. A. e L. P. Pacheco. "Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17, n.º 12 (dezembro de 2013): 1301–9. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662013001200008>.
54. Stieven, A. C., W. M. Mendes., F. Wruck., E. G. Couto e D. T. da S. Campos. "Atributos do solo em sistemas diferenciados de uso e manejo do solo em Mato Grosso, MT, Brasil". *COLLOQUIUM AGRARIAE* 16, n.º 2 (maio de 2020): 1–15. <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n2.a354>.
55. Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. (Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. 2017), 858 p.
56. Taylor, K. C, Halfacre, R. G. "The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*." *Horticulture Science* 21, n.º 5 (1986): 1159-1161.
57. Wang, W. B.; Wang, A. Q. "Propriedades de preparação, dilatação e retenção de água de hidrogéis superabsorventes reticulados à base de goma de guar." *Pesquisa de Materiais Avançada . Trans Tech Publications Ltd* (2010): 177-182.
58. WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. "O Valor da Água: Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos." UNESCO (2021). accessed Set 29, 2021, https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por.
59. Yonezawa, Uilian Gabaldi , Marcia Regina de Moura, Fauze Ahmad Aouada. "Estado da arte: um estudo sobre polímeros biodegradáveis na germinação e desenvolvimento de plantas." *Caderno de Ciências Agrárias* 9, n.º 2 (agosto 2017): 69-78.
60. Zinivand, Naser, Davoud Khodadadi-Dehkordi, Heidar Ali Kashkuli, Ali Asareh e Aslan Egdernezhad. "Assessment of superabsorbent polymer effect on water use efficiency of plant under water deficit conditions". *Tecnología y ciencias del agua* 11, n.º 1 (janeiro de 2020): 315–41. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-01-08>.