REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

HIDROGEL SUPERABSORVENTE À BASE DE ÁLCOOL POLIVINÍLICO/CLORETO DE GUAR HIDROXIPROPILTRIMÔNIO COMO CONDICIONADOR DE SOLO EM CULTURA DE ARROZ

SUPERABSORBENT HYDROGEL BASED ON POLYVINYL ALCOHOL/GUAR HYDROXYPROPYLTRIMONIUM CHLORIDE AS A SOIL CONDITIONER IN RICE CROPS

HIDROGEL SUPERABSORBENTE A BASE DE ALCOHOL POLIVINÍLICO/CLORURO DE GUAR HIDROXIPROPILTRIMONIO COMO ACONDICIONADOR DE SUELO EN CULTIVOS DE ARROZ

Emanuel Deitos Ribeiro[1], Sayza Dias de Santana[2], Fabíola Almeida Bezerra[3], Nelson Luis Gonçalves Dias de Souza[4]

e686705
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i8.6705

PUBLICADO: 8/2025

RESUMO

A captação mundial de água doce destinada às atividades agrícolas representa aproximadamente 70% do total, e com o aumento previsto da população esse valor tende a aumentar. Os recursos hídricos se esgotam muito mais rápido do que a reposição natural e, como consequência, poderão impactar a disponibilidade de água e certamente gerarão um efeito negativo no rendimento das culturas. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver sistemas poliméricos, utilizando polímeros sintéticos biodegradáveis e carboidratos, para aplicação no cultivo de arroz. Os sistemas foram sintetizados por meio de um processo de reticulação com tetraborato de sódio, seguindo um planejamento experimental L9. Foram analisadas a capacidade de absorção de água, a influência dos materiais no crescimento das sementes de arroz e a absorção de ureia, visando a regulação da umidade do solo e o controle da volatilização da amônia. A biodegradabilidade das amostras em solo foi avaliada usando o método respirométrico. Contudo, os resultados mostraram que as amostras não eram adequadas para os fins propostos, pois se degradaram rapidamente no solo. No entanto, novas aplicações para os materiais, como filmes de revestimento para alimentos, podem ser consideradas, uma vez que não entrarão em contato com o solo até o momento do descarte.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação. Agricultura. Polímero.

ABSTRACT

Around 70% of the world's fresh water is used for agricultural activities. With the expected population increase, this figure is set to rise. Water resources are being depleted much faster than they can naturally replenish themselves, which could impact water availability and negatively affect crop yields. In this context, this study aimed to develop polymeric systems using biodegradable synthetic polymers and carbohydrates for rice cultivation. These systems were synthesized using a cross-linking process with sodium tetraborate, based on an L9 experimental design. We analyzed the water absorption capacity and the influence of the materials on the growth of rice seeds and the absorption of urea, with a view to regulating soil humidity and controlling ammonia volatilization. We assessed

[1] Ensino médio Centro de Ensino Trabalhador Serviço Social da Indústria.
[2] Graduada em Química Ambiental, Programa de Pós-graduação em Química pela Universidade Federal do Tocantins.
[3] Graduada em Química Ambiental e Mestranda em Química pelo Programa de Pós-graduação em Química (Universidade Federal do Tocantins).
[4] Licenciado e bacharel em Química pela Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, mestre e doutor, ambos pela UFJF. Professor na Universidade Federal do Tocantins e membro do programa de pós-Graduação em Química da UFT.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

the biodegradability of the soil samples using the respirometric method. However, the results showed that the samples were not suitable for the proposed purposes because they degraded rapidly in the soil. Nevertheless, new applications for these materials can be considered, such as food coating films, since they will not come into contact with soil until disposal.

KEYWORDS: *Irrigation. Agriculture. Polymer.*

RESUMEN
Alrededor del 70 % del agua dulce del planeta se destina a actividades agrícolas y, con el aumento previsto de la población, esta cifra aumentará. Los recursos hídricos se están agotando a un ritmo mucho más rápido del que se reponen de forma natural, por lo que esto podría repercutir en la disponibilidad de agua y, sin duda, tener un efecto negativo en el rendimiento de los cultivos. En este contexto, el objetivo de este estudio era desarrollar sistemas poliméricos a partir de polímeros sintéticos biodegradables y carbohidratos para su aplicación en el cultivo del arroz. Los sistemas se sintetizaron mediante un proceso de reticulación con tetraborato sódico, siguiendo un diseño experimental L9. Se analizaron la capacidad de absorción de agua, la influencia de los materiales en el crecimiento de las semillas de arroz y la absorción de urea, con el fin de regular la humedad del suelo y controlar la volatilización del amoníaco. La biodegradabilidad de las muestras de suelo se evaluó mediante el método respirométrico. Sin embargo, los resultados mostraron que las muestras no eran adecuadas para el propósito previsto, ya que se degradaban rápidamente en el suelo. No obstante, estos materiales podrían tener otras aplicaciones, como películas de recubrimiento para productos alimenticios, ya que no entrarán en contacto con el suelo hasta el momento de su eliminación.

PALABRAS CLAVE*: Riego. Agricultura. Polímeros.*

INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento populacional, há uma preocupação em produzir maior quantidade de alimentos, contudo, com maior eficiência, sem degradar o solo ou destruir a flora e a fauna naturais. As recentes projeções divulgadas pelas Nações Unidas indicam que a população mundial deverá atingir um máximo de quase 11.000,00 milhões por volta de 2100 (Kaur; Agrawal; Pfeffer; Williams *et al.*, 2023). Essa projeção resultará numa maior procura de todos os tipos de recursos, especialmente os produtos agrícolas, aumentando subsequentemente a procura de água para irrigação. A água doce é um recurso abiótico vital para a saúde dos ecossistemas e a sobrevivência humana (Bayart; Bulle; Deschênes; Margni *et al.*, 2010; Layani; Bakhshoodeh; Zibaei; Viaggi, 2021). Ela é renovada através do ciclo hidrológico, mas seu consumo excessivo pode causar escassez no fornecimento (Motoshita; Itsubo; Inaba, 2011). As alterações climáticas e as atividades humanas intensivas reduzem os recursos hídricos, prejudicando o meio ambiente e gerando um impacto negativo na saúde humana e nos ecossistemas naturais, em muitos países. Nesse contexto, não é apropriado considerar água doce como um recurso natural renovável (Pfister; Koehler; Hellweg, 2009).

A captação mundial de água doce destinada às atividades agrícolas representa aproximadamente 70% do total, e com o aumento previsto da população esse valor aumentará para 70-90% em 2050 (Ingrao; Strippoli; Lagioia; Huisingh, 2023). Os recursos hídricos se esgotam muito

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

mais rápido do que a reposição natural e, como consequência, poderão impactar a disponibilidade de água e certamente gerarão um efeito negativo no rendimento das culturas. Nesse contexto, destaca-se a necessidade urgente de transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis (Pellegrini; Ingrao; Camposeo; Tricase *et al.*, 2016). Especificamente, o arroz aeróbico é cultivado em solos não inundados com irrigação suplementar. O seu cultivo poupa uma quantidade significativa de água que pode ser utilizada para outro fim. Contudo, a redução do consumo de água gera uma severa redução do rendimento, devido à menor disponibilidade de água na fase reprodutiva (Bouman; Peng; Castañeda; Visperas, 2005). Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, incluindo aditivos e fertilizantes que permitam o uso racional dos recursos hídricos e aumentem o rendimento na produção é essencial para contribuir com a melhoria da sustentabilidade no setor agrícola (Piccoli; Camarotto; Squartini; Longo *et al.*, 2024).

Uma das inovações mais promissoras é a utilização de hidrogéis na agricultura. Esses são definidos como redes 3D de polímeros naturais ou sintéticos com a capacidade de absorver e reter grandes volumes de líquidos. Isso deve-se ao processo de reticulação, que pode ser físico ou químico (Ullah; Santos; Khan, 2016). Os hidrogéis sintéticos podem ser derivados de diferentes cadeias macromoleculares, como os poli(acrilatos) (Thakur; Thakur, 2015). Os polímeros naturais são, pelo contrário, normalmente preparados a partir de carboidratos. Esses materiais também se caracterizam pela sua capacidade de alterar a sua estrutura química em consequência de condições como o pH, a temperatura, a concentração de sais, o campo elétrico e a quantidade de solvente (Piccoli; Camarotto; Squartini; Longo *et al.*, 2024).

Na agricultura, o hidrogel pode fornecer a água de forma imediata para sementes ou plântulas quando as condições do solo nas proximidades começam a secar (Guan; Cui; Ma; Zheng *et al.*, 2014). Sua aplicação pode reduzir a frequência de irrigação e melhorar a eficiência do uso da água, uma vez que o solo permanece úmido durante longos períodos (Albalasmeh; Mohawesh; Gharaibeh; Alghamdi *et al.*, 2022). Evitam as perdas de fertilizantes causadas pela lixiviação para os lençóis de águas subterrânea, assim, reduzindo a procura por fertilizantes e diminuindo a poluição ambiental. A utilização de hidrogéis demonstrou aumentar significativamente a porosidade do solo, facilitando a oxigenação das sementes e das raízes das plantas (Abobatta, 2018; Hussien; Donia; Atia; El-Sedfy *et al.*, 2012). Além disso, protegem a matéria orgânica do solo, o que pode aumentar a produtividade das culturas (Solieman; Afifi; Abu-Elmagd; Baker *et al.*, 2023).

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver sistemas poliméricos, a partir da reticulação do PVA e da goma gelana com o tetraborato de sódio, com o intuito de auxiliar a germinação sadia e o crescimento de sementes de arroz.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

MÉTODO

Sínteses dos hidrogéis

A síntese dos materiais seguiu o planejamento experimental L9, apresentado na Tabela 1 e 2. De maneira geral, primeiro, certa quantidade de álcool polivinílico (PVA) foi dissolvida em 35 mL de água destilada, utilizando um balão de boca única e sob aquecimento, em banho de óleo (80 °C por 1 hora). Em seguida, certa quantidade de cloreto de guar hidroxipropiltrimônio (CGH) foi adicionada ao balão e manteve-se a agitação e o aquecimento por 2 h. Após esse período, interrompeu-se o aquecimento, adicionou-se tetraborato de sódio (TBNa) o sistema foi agitado até a formação do gel. O gel formado foi transferido para formas de silicone e deixado em estufa a determinadas temperaturas por 24 h. Por fim, o gel formado foi lavado com acetona e seco à temperatura ambiente (Kalantari; Mostafavi; Saleh; Soltantabar *et al.*, 2020).

Tabela 1. Variáveis investigadas e seus níveis no planejamento experimental

Nível de variáveis	PVA (g)	CGH (g)	TBNa (%)	Temperatura (ºC)
1	2,0	1,0	0,5	25
2	2,5	1,5	1,0	50
3	3,0	2,0	3,0	75

Tabela 2. Planejamento experimental para as sínteses

Código da amostra	PVA (g)	CGH (g)	TBNa (%)	Temperatura (ºC)
A	2,0	1,0	0,5	25
B	2,0	1,5	1,0	50
C	2,0	2,0	3,0	75
D	2,5	1,0	1,0	75
E	2,5	1,5	3,0	25
F	2,5	2,0	0,5	50
G	3,0	1,0	3,0	50
H	3,0	1,5	0,5	75
I	3,0	2,0	1,0	25

A obtenção do planejamento experimental foi feita utilizando o programa Minitab 19. A Tabela 2 demonstra o arranjo experimental Taguchi (L9), sendo a porcentagem observada para o TBNa referente à soma das massas do PVA e CGH.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Absorção de água

O estudo de absorção de água foi realizado em quintuplicada. Assim, pesaram-se cerca de 0,1 g de cada amostra, que foram deixadas em repouso em água destilada por 24 horas. Em seguida, as amostras foram removidas e a porcentagem de absorção de água (AA%) foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$AA\ (\%) = \frac{\text{Massa final-Massa inicial}}{\text{Massa inicial}} \times 100$$

Absorção de ureia

O estudo de absorção de ureia foi realizado em quintuplicada. Assim, pesaram-se cerca de 0,1 g de cada amostra, que foram deixadas em repouso em solução saturada de ureia por 24 horas. Em seguida, as amostras foram removidas, secas em estufa a 100 °C por 24 h e a porcentagem de absorção de ureia foi calculada de forma semelhante à da água.

Volatilização da amônia

Em diferentes frascos de vidro com capacidade para 1000 mL, foram adicionados 360 g de solo, 360 g de solo mais 0,018 g ureia e 360 g de solo mais 0,021 g de hidrogel com a ureia absorvida. Dentro desses frascos, sobre o solo, foram acomodados béqueres de 50 mL contendo 10 mL de solução de ácido bórico (20% m/v). A determinação da quantidade de amônia foi realizada pela titulação com solução de ácido sulfúrico padronizada, detectando-se o ponto final da titulação pela adição de uma mistura de vermelho de metila e verde de bromocresol (Hernandes; Cazetta, 2001). O teste foi realizado a 36 °C e em triplicada para cada sistema.

Biodegradabilidade no solo

O processo de biodegradação dos hidrogéis em solo foi verificado utilizando o sistema Respirométrico para Análise de Solos - Modelo System 6 - Marca VELP. O equipamento foi projetado para realizar testes de degradação aeróbica em solo e composto. A análise fornece resultados da respiração microbiana do solo a partir da mineralização de substâncias orgânicas. O solo controle foi preparado com o teor de umidade desejado, seguindo a referência padrão. Assim, pesaram-se 200 mg do material polimérico em 100 g do solo, que foram adicionados no frasco do sistema respirométrico. Introduziu-se cerca de 6 escamas de KOH no coletor alcalino, aparafusaram-se os sensores e incubou-se o sistema a 20 °C, aguardou-se cerca de 30 minutos para estabilizar a pressão (Smagin; Sadovnikova; Budnikov, 2023). Por fim, o teste foi executado por 160 dias.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Teste de crescimento do arroz

O experimento foi realizado na Universidade Federal do Tocantins, Gurupi–TO, seguindo as coordenadas 11° 43' 48" S 49° 04' 08" O. As sementes de arroz foram dispostas em 2 tratamentos (com e sem hidrogel), tendo cada tratamento 4 repetições de 20 sementes, totalizando 160 sementes, distribuídas no delineamento de forma casual. Não foi realizado tratamento de quebra de dormência. O substrato utilizado no experimento foi composto por turfa de *sphagnum,* fibra de coco, casca de arroz, casca de pínus, vermiculita e nutrientes (Dantas; Veloso; Marchesan; Da Silva *et al.*, 2023).

Assim, em bandejas sementeiras com 64 espaços para germinação, foi acrescentado o substrato e 0,34 g de hidrogel para cada tubete. Os hidrogéis foram acrescentados já com a água absorvida. As bandejas com as sementes foram colocadas em uma câmara germinadora exposta ao sol, ao abrigo de chuva e irrigadas a cada 4 dias.

Ao final de 32 dias foram avaliadas diferentes variáveis de crescimento do arroz: (i) o número de sementes germinadas foi contabilizado fazendo a contagem simples de todas as plântulas que se formaram; (ii) o número de folhas foi avaliado fazendo a contagem simples do número de folhas em cada plântula; (iii) o comprimento da parte aérea foi avaliado após retirar as plântulas do substrato, e estas foram medidas utilizando uma régua com precisão milimétrica; (iv) o peso fresco foi medido após retirar as plântulas do substrato, as quais foram pesadas individualmente em uma balança com precisão analitíca; (v) mesmo procedimento utilizado para o peso seco das plântulas, que foram pesadas após secas em estufa por 72 horas à temperatura de 70 °C. A média das variáveis obtidas em cada tratamento foi submetida à análise do teste t de Student, utilizando o software GraphPad Prism®.

Espectroscopia Raman

Os espectros Raman foram adquiridos utilizando um equipamento Brucker RFS 100, equipado com um laser Nd^{+3}/YAG operando em 1064 nm e um detector Ge resfriado com nitrogênio líquido, com resolução espectral de 4 cm^{-1} e média de 516 varreduras.

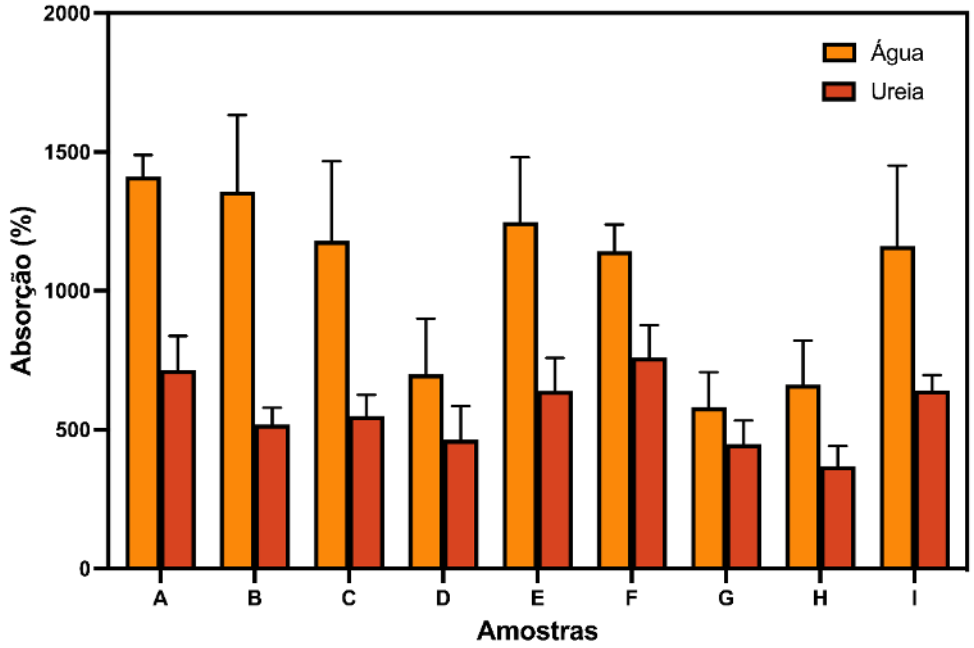
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta os valores experimentais da capacidade de absorção (água e ureia) dos hidrogéis obtidos através do planejamento experimental (A-I), a capacidade de absorção é denotada em porcentagem. O experimento A (1411,48 ± 77,9247%) e C (1280,76 ± 172,001%) apresentaram a maior média de absorção de água e ureia respectivamente. O experimento que se obteve pior resultado foi o G para a água (581,96 ± 125,503%) e o H para a ureia (448,17 ± 85,0747%).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 1. Capacidade de absorção de água e ureia dos experimentos do planejamento experimental



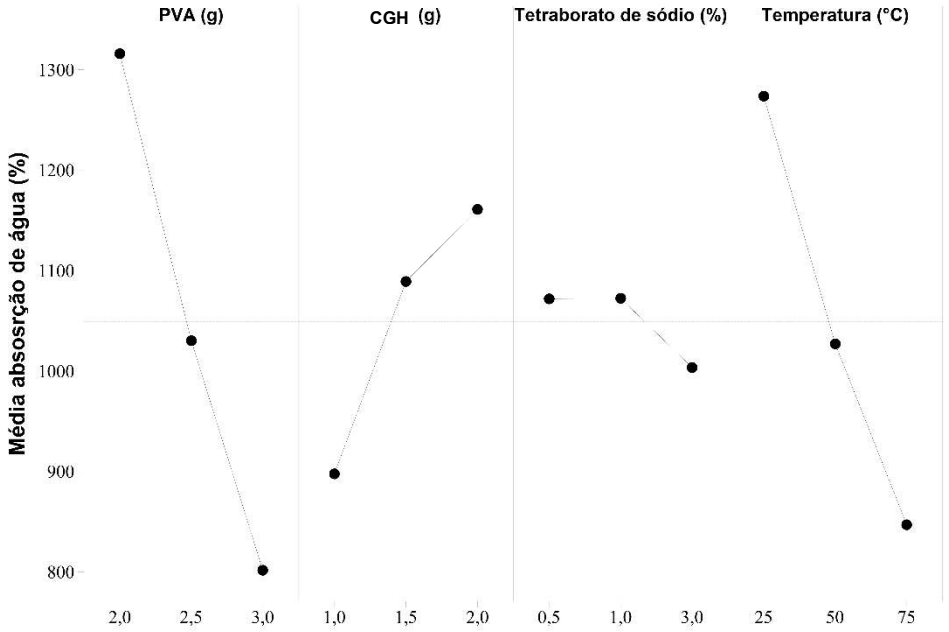
Fonte: autor

As Figuras 2 e 3 demonstram, respectivamente, a influência de cada variável na capacidade de absorção de água e ureia, e a melhor combinação de níveis e variáveis, a fim de se obter a amostra com a maior capacidade de absorção. A melhor combinação de síntese para a absorção de água e ureia é 2,0 g de PVA, 2,0 g CGH, 1% de TBNa e 25 °C e 2,5 g de PVA, 2,0 g GGQ, 0,5% TBNa e 25 °C, respectivamente. A melhor combinação de síntese para ambos os casos não estava dentro das amostras já produzidas, sendo então necessário realizar a síntese dessas amostras. Assim, a síntese das amostras foi realizada, sendo as amostras relativas à absorção de água e ureia designada como M(água) e M(ureia), respectivamente. Os valores preditos pelo tratamento estatístico da capacidade de absorção de água e ureia foram, respectivamente, 1675,37 ± 324,592% e 850,131 ± 127,002%. Ainda nas Figuras 2 e 3 é possível observar como cada variável influencia na capacidade de absorção. Assim, em relação à absorção de água, é possível notar que o aumento da quantidade de PVA, TBNa e temperatura diminui a capacidade de absorção e que o aumento da quantidade de CGH aumenta essa capacidade. Em relação à ureia, uma relação linear é observada em relação à temperatura, quanto maior a temperatura menor a capacidade de absorção.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

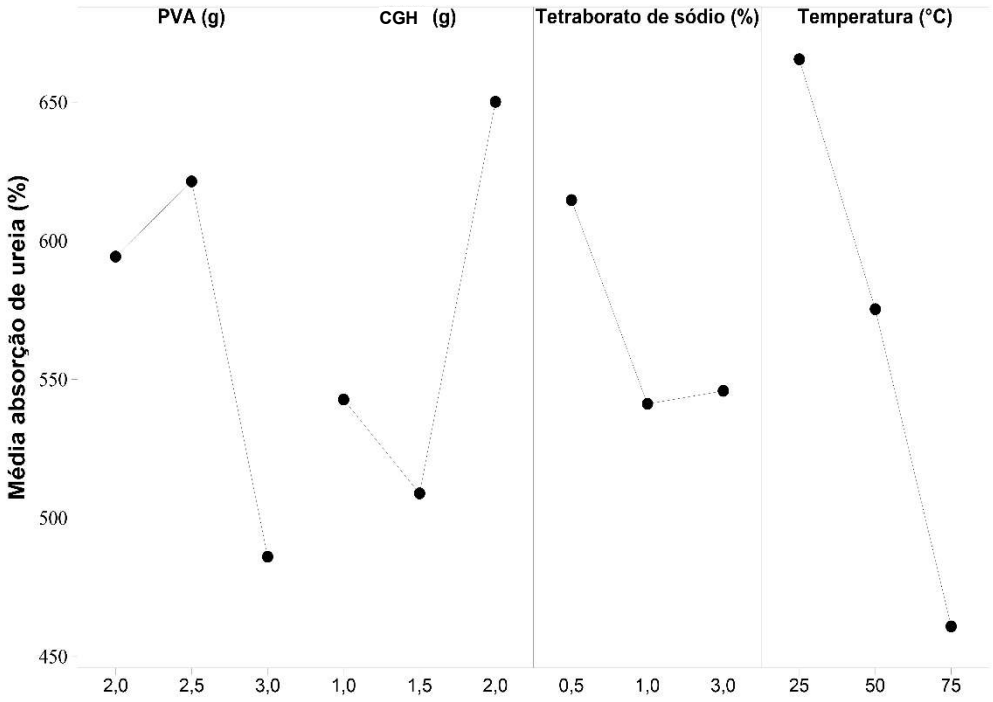
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 2. Influência das variáveis para a absorção de água



Fonte: autor

Figura 3. Influência das variáveis para a absorção de ureia



Fonte: autor

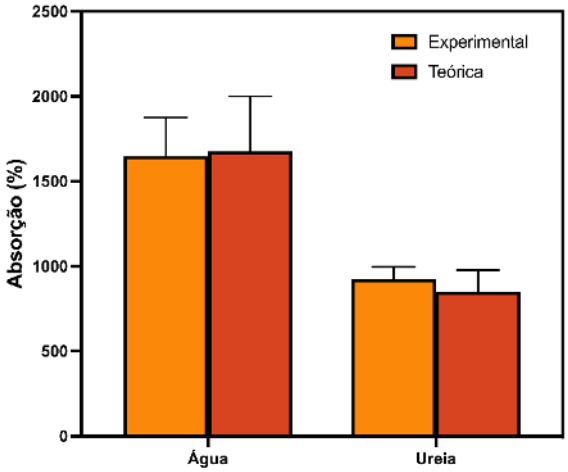
ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

A Figura 4 apresenta a comparação do dado experimental e teórico relativo à capacidade de absorção de ureia e água. Observa-se que os valores são próximos, indicando que o planejamento experimental e o tratamento estatístico foram eficazes na predição do comportamento das amostras.

Figura 4. Comparação de resultados experimentais e preditos das amostras M(água) e M(ureia)



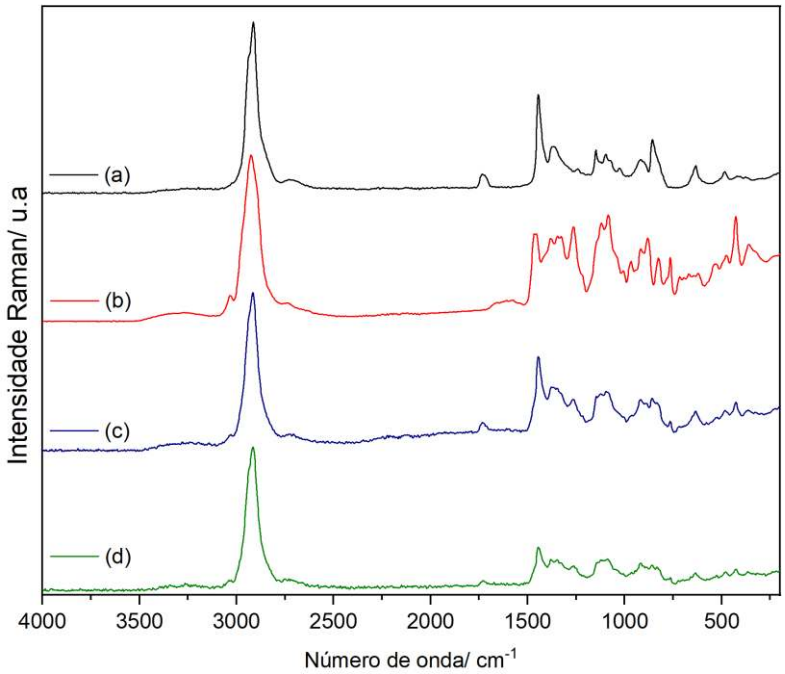
Fonte: autor

A Figura 5 apresenta os espectros Raman dos hidrogéis obtidos e os dos polímeros utilizados para a sua obtenção. A Tabela 3 mostra a tentativa de atribuição das bandas conforme a literatura (Alves; Cavallini; Souza, 2025; Palumbo; Berent; Proniewicz; Banaś, 2019; Thomas; Stuart, 1997; Yuen; Choi; Phillips; Ma, 2009). A reação para a formação do hidrogel com o agente tetraborato de sódio decorre devido à formação de ligações cruzadas entre as cadeias dos polímeros e os íons borato (reticulação), resultando em um material tridimensional com propriedades de absorventes. Essa reação ocorre entre os íons boratos com os grupos hidroxila (-OH) presentes nas cadeias dos polímeros. As ligações B-O-C são formadas e utilizadas para confirmar a formação da estrutura de hidrogel (Luan; Long, 2024). Assim, esperava-se o aparecimento de bandas em 632, 895, 962, 1115, 1163 e 1249 cm^{-1}, atribuídas respectivamente à presença dos íons boratos, ν(B-O)/$\nu(BH_2)$, $\nu_{simétrico}$(B3-O), ligações B-O-C, δ(B-O-H) e $\nu_{assimétrico}$(B3-O) (Lawrence, 2024). Essas bandas apresentam-se sobrepostas às bandas dos polímeros, dificultando a caracterização do processo de reticulação. No entanto, este processo pode ser também verificado por alterações nas bandas referentes ao grupamento -OH. Assim, nos espectros dos hidrogéis pode-se observar o desaparecimento da banda em 1027 cm^{-1} (referente ao PVA), a diminuição da intensidade relativa das bandas em 1379, 1341, 1328, 1261, 1119 e 1085 cm^{-1} (relacionadas ao CGH).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 5. Espectro Raman do PVA (a), CGH (b), M(água) e M(ureia)



Fonte: autor

Tabela 3. Tentativa de atribuição das bandas Raman (cm^{-1})

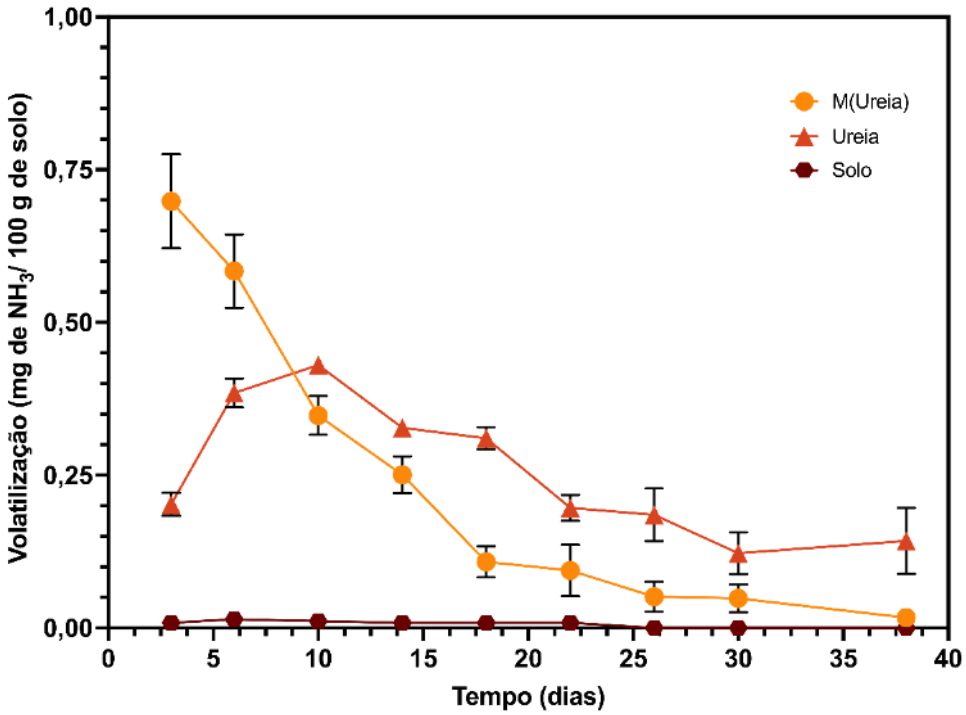
PVA	CGH	Atribuição
2916	2924	ν(C-H)
1442/1364	1458/1379/1341/1328	δ(C-H) + δ(O-H)
	1261/1119/1085/1007	ν(C-O) + ν(C-O-H) + δ(C-O-H)
1150		ν(C-C) + ν(C-O)
1096/1027		ν(C-O) + δ(O-H)
911		ν(C-C)
855		ν(C-C)

A volatilização de NH_3 é a principal causa para a diminuição da eficiência da utilização de nitrogênio, proveniente da ureia, quando esta é aplicada sobre a superfície do solo para absorção pelas plantas. A fim de minimizar essa perda, produtos têm sido misturados à ureia para inibir temporariamente a ação da urease (Cancellier; Silva; Faquin; Gonçalves *et al.*, 2016). Nesse contexto, a Figura 6 demonstra o gráfico de volatilização da ureia aplicada em separado, em conjunto com o hidrogel e a do solo (controle). Observa-se que o hidrogel não apresenta a capacidade de inibir a ação da urease e evitar a volatilização da amônia, uma vez que foi identificada volatilização durante todo período analisado.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 6. Gráfico de volatilização da amônia

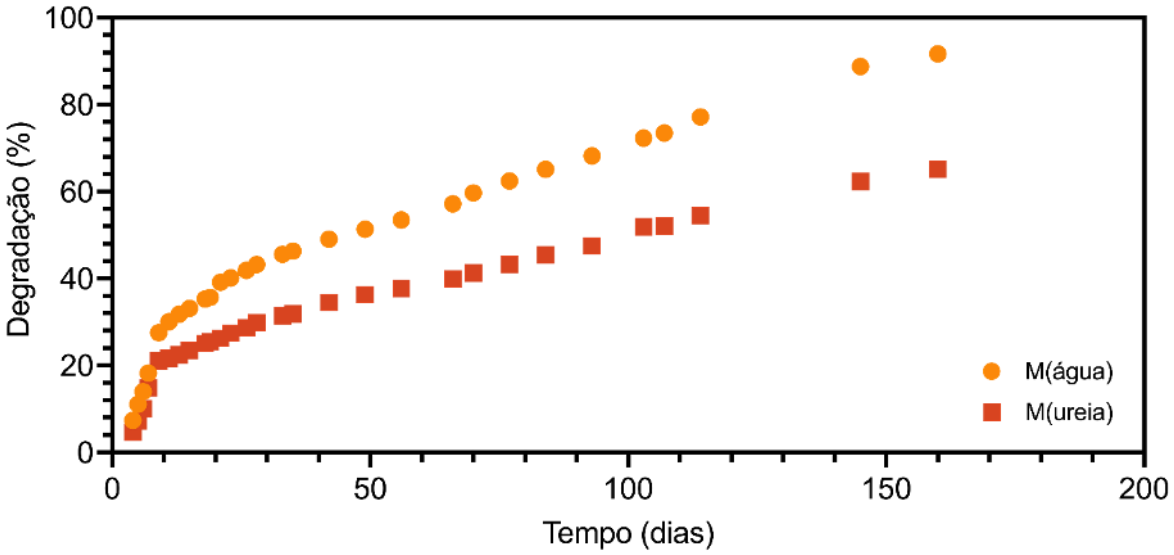


Fonte: autor

O álcool polivinílico (PVA) é um polímero sintético solúvel em água que possui boas propriedades mecânicas e térmicas, bem como boa transparência e resistência à permeação de oxigênio. No entanto, apresenta baixas taxas de biodegradação em alguns ambientes, como o solo, além de custo relativamente alto e baixa resistência à água devido à presença de grupos hidroxila (Abdullah; Dong, 2019). Sua degradação em condições de enterramento no solo pode levar 120 dias. Contudo, fatores como cristalinidade, peso molecular, área de superfície, ligações cruzadas e forma física alteram seu processo de degradação. Além disso, fatores ambientais do solo, como temperatura, umidade, pH, disponibilidade de oxigênio, localização e luz solar, podem influenciar na sua taxa de biodegradação (Silva; Marques; Arruda; Teixeira *et al.*, 2023). A mistura de PVA com carboidratos, como o amido, tem resultado em melhoria na biodegradabilidade e redução de custos (Deng; Su; Zhang; Khan *et al.*, 2024). Nesse contexto, o estudo da biodegrabilidade das amostras foi realizado (Figura 7). Percebe-se que, em 10 dias de experimento, há mais de 20% de degradação de ambas as amostras e, ao final do experimento (160 dias), têm-se 91% de degradação de M(água) e 65% de M(ureia), respectivamente. Logo, a primeira amostra apresenta uma maior biodegradabilidade, o que pode ser relacionado a uma menor quantidade de PVA utilizada nessa amostra.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 7. Gráfico de biodegradação das amostras



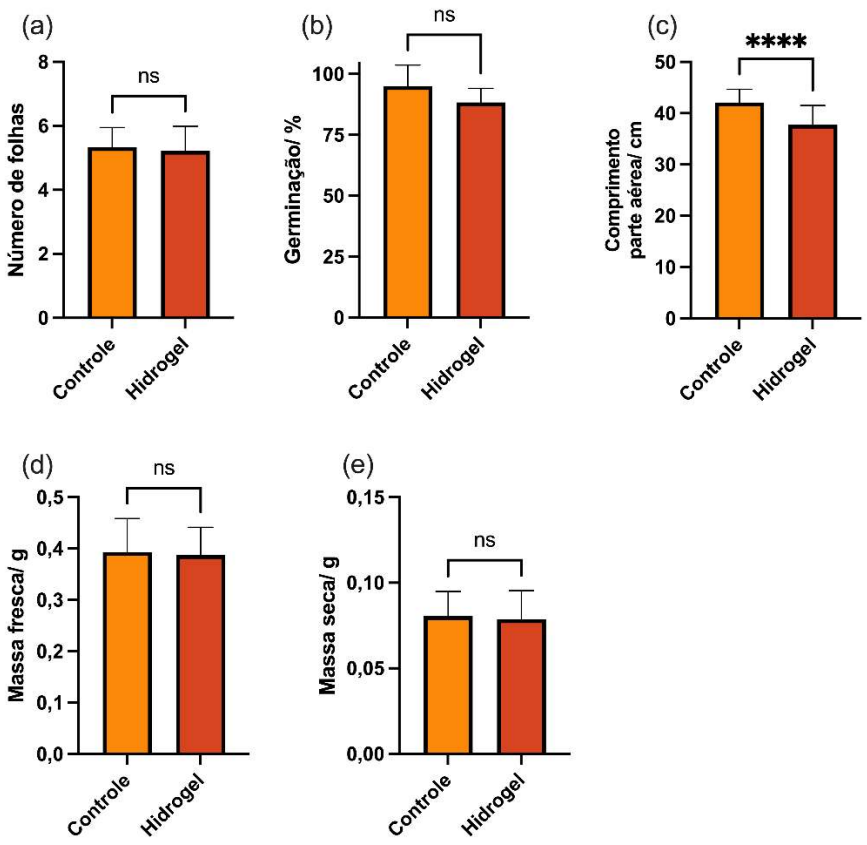
Fonte: autor

A Figura 8 mostra os resultados referentes aos parâmetros fisiológicos de crescimento estudados: germinação, número de folhas, massa seca, massa fresca e comprimento da parte aérea. Em cada gráfico de colunas é apresentada a comparação do experimento sem a utilização do hidrogel (controle) e com o hidrogel. Os resultados estatísticos são apresentados na parte superior dos gráficos, onde 'ns' indica a não existência de diferença significativa entre as amostras e '****' indica diferença significativa. Assim, em relação ao número de folhas, germinação, massa fresca e massa seca, é possível notar a inexistência de influência positiva do hidrogel. Uma influência negativa é observada no comprimento da parte aérea, diminuição de 9,56% em relação às médias.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 8. Resultados estatísticos dos parâmetros fisiológicos e de crescimento analisados



Fonte: autor

CONSIDERAÇÕES

A síntese de amostras poliméricas utilizando o planejamento experimental L9 para a reticulação do PVA e CGH com o tetraborato de sódio foi realizada, a fim de se obter hidrogéis. As amostras apresentaram excelentes valores de absorção de água e de ureia, o que poderia propiciar sua aplicação no controle de umidade do solo e no controle da volatilização da amônia. Contudo, os ensaios de crescimento da cultura de arroz com os hidrogéis e o teste de volatilização da amônia mostraram que os materiais não são aplicáveis para tais fins, uma vez que não se observou uma melhora nos parâmetros fisiológicos de crescimento da cultura de arroz e nem uma diminuição da perda da amônia por volatilização. Esses resultados negativos podem ser associados a um perfil rápido de biodegradação das amostras no solo, pois a rápida degradação dos polímeros implica a perda da sua estrutura 3D, assim como das propriedades desejadas. Contudo, esses resultados indicam que o material obtido apresentará uma melhor

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

aplicabilidade em situações nas quais a rápida degradação é desejada, como, por exemplo, filmes para revestimento de alimentos.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, Z. W.; DONG, Y. Biodegradable and Water Resistant Poly(vinyl) Alcohol (PVA)/Starch (ST)/Glycerol (GL)/Halloysite Nanotube (HNT) Nanocomposite Films for Sustainable Food Packaging. **Frontiers in Materials**, v. 6, 17 april 2019.

ABOBATTA, W. Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. **Advances in Agriculture and Environmental Science**, v. 1, 2018.

ALBALASMEH, A. A.; MOHAWESH, O.; GHARAIBEH, M. A.; ALGHAMDI, A. G. *et al.* Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 21, n. 8, p. 518-524, 2022.

ALVES, T. T.; CAVALLINI, G. S.; SOUZA, N. L. G. D. Experimental Design of Polymer Synthesis for the Removal of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid and Glyphosate from Water by Adsorption. **Waste**, v. 3, n. 1, p. 7, 2025.

BAYART, J. B.; BULLE, C.; DESCHÊNES, L.; MARGNI, M. *et al.* A framework for assessing off-stream freshwater use in LCA. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, n. 5, p. 439-453, 2010.

BOUMAN, B. A. M.; PENG, S.; CASTAÑEDA, A. R.; VISPERAS, R. M. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. **Agricultural Water Management**, v. 74, n. 2, p. 87-105, 2005.

CANCELLIER, E. L.; SILVA, D. R. G.; FAQUIN, V.; GONÇALVES, B. D. A. *et al.* Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till maize in brazilian cerrado with improved soil fertility. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, 2016.

DANTAS, H. A.; VELOSO, A. C. B.; MARCHESAN, R.; DA SILVA, S. A. B. *et al.* Análise de crescimento inicial de mudas de Schizolobium parahyba var amazonicum em função de doses de gel hidrofílico natural e sob estresse hídrico. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 10514-10527, 2023.

DENG, H.; SU, J.; ZHANG, W.; KHAN, A. *et al.* A review of starch/polyvinyl alcohol (PVA) blend film: A potential replacement for traditional plastic-based food packaging film. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 273, p. 132926, 07 jan. 2024.

GUAN, Y.; CUI, H.; MA, W.; ZHENG, Y. *et al.* An Enhanced Drought-Tolerant Method Using SA-Loaded PAMPS Polymer Materials Applied on Tobacco Pelleted Seeds. **The Scientific World Journal**, v. 2014, n. 1, p. 752658, 2014.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J. O. Método simples e acessível para determinar amônia liberada pela cama aviária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 824–829, 2001.

HUSSIEN, R. A.; DONIA, A. M.; ATIA, A. A.; EL-SEDFY, O. F. *et al.* Studying some hydro-physical properties of two soils amended with kaolinite-modified cross-linked poly-acrylamides. **CATENA**, v. 92, p. 172-178, 2012.

INGRAO, C.; STRIPPOLI, R.; LAGIOIA, G.; HUISINGH, D. Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. **Heliyon**, v. 9, n. 8, p. e18507, 2023.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

KALANTARI, K.; MOSTAFAVI, E.; SALEH, B.; SOLTANTABAR, P. *et al.* Chitosan/PVA hydrogels incorporated with green synthesized cerium oxide nanoparticles for wound healing applications. **European Polymer Journal**, v. 134, p. 109853, 05 jul. 2020.

KAUR, P.; AGRAWAL, R.; PFEFFER, F. M.; WILLIAMS, R. *et al.* Hydrogels in Agriculture: Prospects and Challenges. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 31, n. 9, p. 3701-3718, 2023.

LAWRENCE, M. B. Influence of cross-linker concentration on the water contained within the pores of poly(vinyl alcohol)-borax hydrogels: a vibrational spectroscopic study. **Polymer Bulletin**, v. 81, n. 15, p. 13783-13801, 2024.

LAYANI, G.; BAKHSHOODEH, M.; ZIBAEI, M.; VIAGGI, D. Sustainable water resources management under population growth and agricultural development in the Kheirabad river basin, Iran. **Bio-based and Applied Economics**, v. 10, n. 4, p. 305-323, 2021.

LUAN, V. H.; LONG, H. Self-healable PVA-Borax-K2SO4 hydrogel electrolyte for flexible symmetric supercapacitors. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1340, n. 1, p. 012004, 01 april 2024.

MOTOSHITA, M.; ITSUBO, N.; INABA, A. Development of impact factors on damage to health by infectious diseases caused by domestic water scarcity. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 1, p. 65-73, 2011.

PALUMBO, G.; BERENT, K.; PRONIEWICZ, E.; BANAŚ, J. Guar Gum as an Eco-Friendly Corrosion Inhibitor for Pure Aluminium in 1-M HCl Solution. **Materials**, v. 12, n. 16, p. 2620, 2019.

PELLEGRINI, G.; INGRAO, C.; CAMPOSEO, S.; TRICASE, C. *et al.* Application of water footprint to olive growing systems in the Apulia region: A comparative assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 2407-2418, 2016.

PFISTER, S.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 11, p. 4098-4104, 2009.

PICCOLI, I.; CAMAROTTO, C.; SQUARTINI, A.; LONGO, M. *et al.* Hydrogels for agronomical application: from soil characteristics to crop growth: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 44, n. 2, p. 22, 2024.

SILVA, R. R. A.; MARQUES, C. S.; ARRUDA, T. R.; TEIXEIRA, S. C. *et al.* Biodegradation of Polymers: Stages, Measurement, Standards and Prospects. **Macromol**, v. 3, n. 2, p. 371-399, 2023.

SMAGIN, A. V.; SADOVNIKOVA, N. B.; BUDNIKOV, V. I. Biodegradation of Aqueous Superabsorbents: Kinetic Assessment Using Biological Oxygen Demand Analysis. **Journal of Composites Science**, v. 7, n. 4, 2023.

SOLIEMAN, N. Y.; AFIFI, M. M. I.; ABU-ELMAGD, E.; BAKER, N. A. *et al.* Hydro- physical, biological and economic study on simply, an environment- friendly and valuable rice straw-based hydrogel production. **Industrial Crops and Products**, v. 201, p. 116850, 2023.

THAKUR, V. K.; THAKUR, M. K. Recent advances in green hydrogels from lignin: a review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 72, p. 834-847, 2015.

THOMAS, P. S.; STUART, B. H. A Fourier transform Raman spectroscopy study of water sorption by poly(vinyl alcohol). **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 53, n. 13, p. 2275-2278, 1997.

ULLAH, H.; SANTOS, H. A.; KHAN, T. Applications of bacterial cellulose in food, cosmetics and drug delivery. **Cellulose**, v. 23, n. 4, p. 2291-2314, 2016/08/01 2016.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

YUEN, S.-N.; CHOI, S.-M.; PHILLIPS, D. L.; MA, C.-Y. Raman and FTIR spectroscopic study of carboxymethylated non-starch polysaccharides. **Food Chemistry**, v. 114, n. 3, p. 1091-1098, 01 jun. 2009.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.