DESENVOLVIMENTO DE BIOESFERAS DE FOSFATO TRI-POTÁSSICO A BASE DE ALGINATO DE SÓDIO

David Cardoso Garcia, Ana Júlia Gaspar Schmitz, Daniel João Dall'Orsolett, Aline Fernandes de Oliveira, Cristian Berto da Silveira.

INTRODUÇÃO

Os fertilizantes são compostos que têm por objetivo suprir a deficiência nutricional do solo, visando aumentar a produtividade das culturas (MAPA, 2014). Fazem parte da composição básica dos nutrientes do solo os elementos nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Estes elementos estão diretamente relacionados ao crescimento e o desenvolvimento das plantas, desempenhando um papel fundamental na agricultura moderna (FAO, 2018).

Desta forma, com o objetivo de aumentar a produtividade de alimentos por meio da agricultura, o uso de fertilizantes químicos tem crescido exponencialmente, muitas vezes de maneira excessiva e inadequada, gerando impactos ambientais significativos. No relatório da FAO observa-se que o aumento da produção intensiva de alimentos e o uso descontrolado de fertilizantes está diretamente relacionado à degradação de ecossistemas aquáticos. O manejo demasiado de N e P tem resultado na lixiviação destes compostos para os corpos hídricos, promovendo o fenômeno da eutrofização. Esse processo estimula a proliferação de algas, que consomem o oxigênio da água, resultando na morte de peixes e outras espécies aquáticas (FAO, 2018).

Em comparação aos fertilizantes tradicionais, os fertilizantes de liberação controlada são vistos como uma opção ecologicamente sustentável (ALI et al., 2019). Dentre os fertilizantes de liberação controlada, aqueles produzidos a partir de biopolímeros tem apresentado alta eficiência, isso porque a liberação dos nutrientes acontece por meio dos canais porosos que são formados no material polimérico, fazendo com que a liberação no solo seja gradual (SATHISARAN; BALASUBRAMANIAN, 2020). As formulações de produtos de liberação controlada que empregam biopolímeros renováveis têm recebido destaque, pois apresentam vantagens em relação aos fertilizantes tradicionais, contribuindo para a preservação da fertilidade do solo, com a retenção hídrica, são sustentáveis e não causam poluição adicional (FIRMANDA et al., 2024).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma bioesferas de alginato de sódio contendo fósforo, nitrogênio, cálcio e potássio na sua composição, visando a formação de um fertilizante de liberação controlada.

DESENVOLVIMENTO

As bioesferas de alginato de sódio (AS) foram produzidas por meio de uma suspenção de AS 2% (m/v) em 50 mL de água destilada. Esta suspensão ficou sob agitação magnética por 24 h. Ao final deste período as bioesferas foram formadas através do processo de gelificação ionotrópica em solução de cloreto de cálcio ($CaCl_2$) 2% (m/v) (OLIVEIRA, 2009). O tempo total de reticulação das esferas na solução de $CaCl_2$ foi de 20 minutos, sendo 5 minutos de gotejamento da suspensão de AS em agitação magnética, seguida de mais 15 minutos em agitação para completar o processo de reticulação. Um procedimento semelhante foi adotado para preparar as bioesferas contendo fósforo (ASP), porém a suspensão de AS 2% (m/v) foi preparada em 50 mL de solução fosfato tripotássico (K_3PO_4) 1% (m/v). Essa suspensão ficou sob agitação magnética por 24h. As bioesferas também foram obtidas pela técnica de gelificação ionotrópica, neste caso, utilizando como solução reticulante o nitrato de cálcio ($Ca(NO_3)_2$) 4% (m/v). O tempo total de reticulação das esferas na solução de $Ca(NO_3)_2$ foi de

20 minutos, sendo 5 minutos de gotejamento da suspensão ASP em agitação magnética, seguida de mais 15 minutos em agitação para completar o processo de reticulação. Ao fim destes processos as bioesferas foram filtradas, lavadas com água destilada e levadas a secagem em estufa a temperatura de 35°C durante 24h. Em seguida os biomateriais foram acondicionados em refrigerador. Para caracterizar as bioesferas e confirmar a presença de nutrientes na sua estrutura foram empregadas as técnicas de FTIR-ATR, MEV e TGA.

RESULTADOS

A metodologia aplicada para a produção das bioesferas se mostrou de fácil aplicação e muito eficiente. Na Figura 1 encontram-se os espectros de FTIR para as amostras de AS e ASP. As bandas de absorção na região de 3500 cm^{-1}, 1620 cm^{-1} e 1400 cm^{-1}, caracterizam o estiramento do grupo OH, o estiramento assimétrico e simétrico dos grupos COO^-, respectivamente, que fazem parte dos grupamentos β-D-manurônico (M) e α-L-gulurônico (G) do AS (CARDOSO, et al, 2025). No espectro de FTIR para a bioesfera de ASP, além das bandas mencionadas para a bioesfera de AS, verifica-se a presença de duas bandas bem características nas regiões de 1000 cm^{-1} e 560 cm^{-1}, referente ao estiramento e a deformação do grupo fosfato (PO_4^{-3}). Destaca-se ainda a presença de outras duas bandas nas regiões de 1330 cm^{-1} e 850 cm^{-1}, referentes ao estiramento assimétrico e as deformações do grupo nitrato (NO_3^-).

As diferenças apresentadas nos espectros de FTIR entre as esferas de AS e ASP podem ser visualizadas nas micrografias apresentadas na Figura 2, onde observa-se duas superfícies distintas. Para a bioesfera de AS podem ser observada uma superfície mais homogênea e menos rugosa, já para a amostra ASP verifica-se uma maior rugosidade e uma maior deformação, indicando uma deposição superficial mais grosseira. O mapeamento da bioesfera de ASP mostra a deposição de P (7,42%), N (6,16%), K (4,84%) e Ca (21,9%) na superfície do biomaterial.

Nas análises termogravimétricas (TGA) também foram observadas diferenças entre os dois materiais. A bioesfera de AS apresenta quatro perdas de massa bem características, uma na região próximo à 100ºC, referente a perda de umidade, na região de 180ºC ocorre a perda de compostos voláteis, nas regiões entre 205ºC e 400ºC ocorre a quebra das ligações químicas entre as cadeias biopoliméricas reticuladas. O resíduo formado para amostra AS, ao final da análise térmica, foi de aproximadamente 30% (CARDOSO, et al, 2025). Já para amostra de ASP percebe-se perdas menores ao longo de toda análise, indicando haver uma possível blindagem da bioesfera. Fica evidente também a maior quantidade de resíduo ao final do processo de aquecimento, aproximadamente 50%, indicando haver uma alta quantidade de compostos inorgânicos. Esta característica pode estar associada a formação de uma camada composta por íons fosfato, nitrato, cálcio e potássio, confirmando a presença destes compostos na bioesfera, elementos fundamentais para o processo de fertilização do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos foi possível verificar que a matriz construída a partir de alginato de sódio e fosfato tri-potássico contém os principais nutrientes para a fertilização do solo na sua estrutura. Para avaliar a capacidade de liberação destes nutrientes para o solo, estudos como a determinação do grau de intumescimento, a degradação em água e no solo e os testes de lixiviação são fundamentais para caracterizar este material como um fertilizante de liberação lenta.

Palavras-chave: alginato de sódio; fertilizante; liberação controlada.

ANEXO(S)

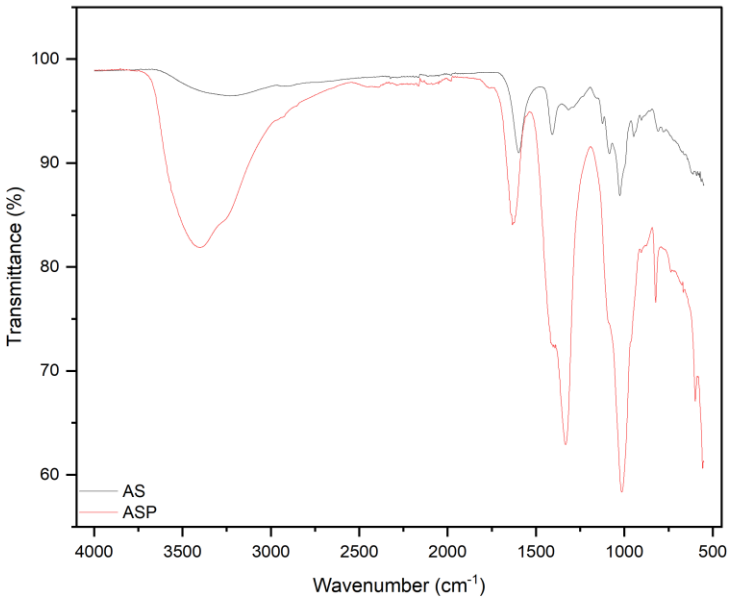


Figura 1. *Espectro de FTIR- ATR para as bioesfera de AS, K_3PO_4 e ASP.*

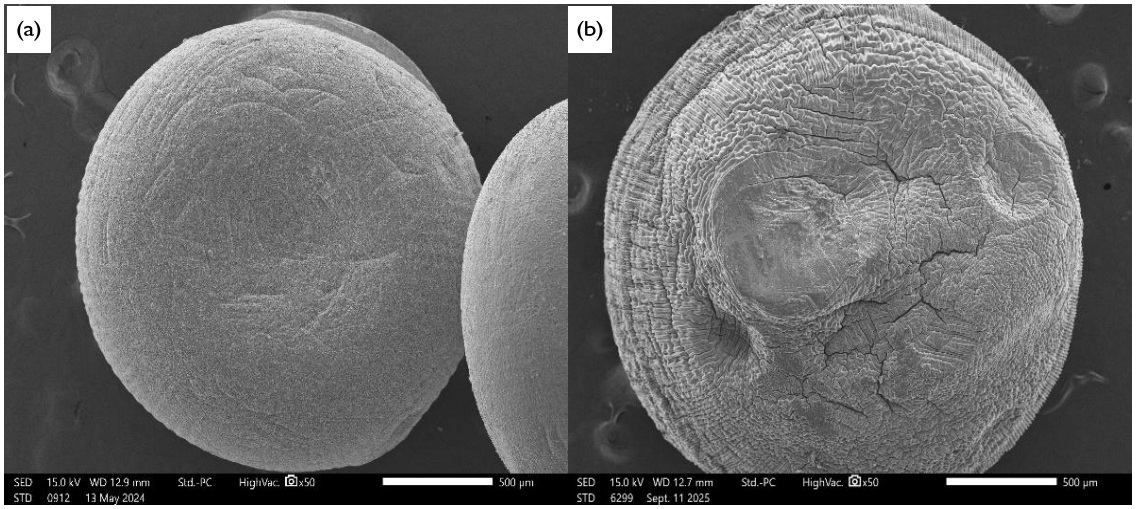


Figura 2. *Micrografia para a bioesfera de AS (a) e ASP (b) nas ampliações de 50x.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, S, S. et al. **Advances in microorganisms-based biofertilizers: Major mechanisms and applications**. Biofertilizers. p. 371-385, 2019.

CARDOSO, G. L.; SEBBEN, E.; MENDES, C. R.; CUNHA, I. E.; COSTAMILAN, C. A. V. L. R.; NEVES, F. F.; SILVEIRA, C. B.; OLIVEIRA, A. F.; DILARRI, G. **Production and characterization of different sodium alginate biospheres with activated carbon and Arthrospira platensis: a novel adsorbent for removing textile dyes**. ChemistrySelect, v. 10, n. 13, 2025.

FAO. **The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.

FIRMANDA, A.; FAHMA, F.; SYAMSU, K.; MAHARDIKA, M.; SURYANEGARA, L.; MUNIF, A.; GOZAN, M.; WOOD, K.; HIDAYAT, R.; YULIA, D. **Biopolymer-based slow/controlled-release fertilizer (SRF/CRF): nutrient release mechanism and agricultural sustainability**. Journal Of Environmental Chemical Engineering. v. 12, n. 2, p. 112177, 2024.

MANUAL DE MÉTDOS ANALÍTICOS OFICIAIS PARA FERTILIZANTES E CORRETIVOS. **Secretaria de Defesa Agropecuária. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Brasília, 2014.

OLIVEIRA, A. F. de. ***Desenvolvimento, caracterização e aplicação de biofilmes e esferas obtidos a partir de carboximetilcelulose e alginato de sódio em processos de liberação controlada de nutrientes***. 2009. 171 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SATHISARAN, I.; BALASUBRAMANIAN, M. **Physical characterization of chitosan/gelatin-alginate composite beads for controlled release of urea**. Heliyon. v. 6, n. 11, p. 1-11. 2020.