DESENVOLVIMENTO DE BIOFERTILIZANTE A BASE DE ALGINATO DE SÓDIO E MICROALGA PARA LIBERAÇÃO CONTROLADA DE NUTRIENTES

Janaina de Souza dos Santos, Débora Giaretta, Daniel João Dall'Orsoletta, Aline Fernandes de Oliveira, Cristian Berto da Silveira

INTRODUÇÃO

A aplicação de fertilizantes na agricultura surgiu da necessidade em fornecer os nutrientes exigidos pelas plantas (BORELLI, 2020). Entretando, a facilidade de lixiviação e volatilização desses insumos agrícolas contribui para a contaminação ambiental, principalmente dos recursos hídricos (SILVA, *et al*., 2021). Uma estratégia para reduzir os danos ambientais é o desenvolvimento de fertilizantes de liberação controlada (BORELLI, 2020). O alginato de sódio é um biopolímero muito utilizado para encapsulação de microrganismos (COSTA, 2023), dada a sua capacidade em reter água e formar hidrogéis estáveis ao interagir com cátions bivalentes, tais como os íons Ca^{2+} (DIAS, 2020). Importante destacar que estes biomateriais também possuem a capacidade de liberar compostos bioativos incorporados à matriz polimérica, tais como fármacos, pesticidas, fungicidas e inseticidas (FIRMANDA *et al*., 2024). A capacidade de liberação destes compostos está diretamente associada à concentração da matriz polimérica, a quantidade de aditivo junto ao biopolímero e, principalmente, a porcentagem do agente reticulante (OLIVEIRA, 2009). Paralelamente, o uso de microalgas como biofertilizantes ou bioestimulantes (VIEIRA, 2025) tem despertado o interesse de pesquisadores, devido a sua capacidade de assimilar fósforo, nitrogênio e sintetizar diversas biomoléculas de interesse agronômico como aminoácidos e lipídios (PARIS, 2025).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi analisar o comportamento de bioesferas a base de alginato de sódio 1% (m/v), dopadas com microalga *Spirulina* 2% (m/v) e reticuladas com 2% (m/v) de $CaCl_2$, nos processos de degradação no solo e lixiviação de nitrogênio e fósforo.

DESENVOLVIMENTO

A produção das bioesferas foi baseada no método de gelificação ionotrópica descrito por Oliveira (2009). Nesse processo foram preparadas separadamente duas suspensões de 0,5g alginato de sódio 1% (m/v) e 1g de microalga *Spirulina* 2% (m/v), essas suspensões ficaram sob agitação magnética por 6 horas. Finalizado este período, as duas suspensões foram misturadas e ficaram sob agitação magnética por mais 18 horas, totalizando 24 horas de homogeneização. Na sequência, para a obtenção das bioesferas AS1M2R2, a suspensão foi gotejada em uma solução de $CaCl_2$ 2% (m/v) para o processo de reticulação. Após 5 minutos de gotejamento, o material permaneceu por mais 15 minutos em agitação até completar 20 minutos de reticulação. Por fim, as bioesferas foram peneiradas, lavadas com água destilada e levadas para estufa previamente aquecida à 35°C por 24 h. Finalizado o processo de secagem, o material foi conservado no refrigerador. O ensaio de degradação no solo foi realizado pelo método de soterramento. As amostras foram secas à 50°C até atingirem peso constante. Para cada ensaio, 10 esferas de AS1M2R2 foram enterradas em 50g de solo. A degradação foi avaliada por 1, 5, 10, 15, 30, 60 e 90 dias. Após o experimento, as esferas foram retiradas do solo, secas e pesadas novamente para o cálculo da perda de peso das amostras.

Para o ensaio de lixiviação, foram construídas colunas utilizando canos de PVC com 50 mm de diâmetro e 20 cm de altura, preenchidas com 510g de solo arenoso. Foram avaliados

três tratamentos: a bioesfera AS1M2R2 contendo 4,23% de N e 0,27% de P_2O_5; o fertilizante mineral convencional, constituído por ureia (45% de N) e superfosfato triplo (SFT; 42% P_2O_5); e o branco, o solo sem tratamento. Para ambos os tratamentos fertilizados, foi aplicada uma dose equivalente a 160 kg ha^{-1} de P_2O_5, correspondente à recomendação para elevação do teor de fósforo do solo, conforme CQFS-RS/SC (2016). Para o nitrogênio, foram aplicados 2514 kg ha^{-1} de N, na forma de bioesfera (AS1M2R2) e 1030 kg ha^{-1} de N na forma de ureia. Os fertilizantes foram aplicados sob a superfície do solo. Após a aplicação, foram realizadas seis simulações de irrigação, com intervalo de uma semana entre cada uma. Em cada evento, foi aplicado uma lâmina de 150 mL de água por coluna, a uma taxa de aplicação de 0,5 mm min^{-1} (1 mL min^{-1}). Após esse processo as colunas permaneceram sob drenagem por 24 h e o lixiviado foi coletado para determinação da concentração de fósforo pelo método de Murphy e Riley (1962), e de nitrogênio mineral, conforme Tedesco *et al*. (1995). Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância ANOVA. A normalidade foi avaliada graficamente por Q-Qplot e a homogeneidade por Brown-Forsythe. O nível de significância 5% ($p < 0,05$) foi adotado para todas as análises. Por fim, as análises estatísticas e a elaboração dos gráficos foram realizadas nos softwares SigmaPlot 15 e OriginPro.

RESULTADOS

Os resultados do ensaio de degradação no solo, conforme a Figura 1, indicam uma perda de peso variável ao longo dos dias. Nas primeiras 24 h, as bioesferas de AS1M2R2 apresentaram perda de 33,13% da sua massa original. A maior degradação foi observada no décimo dia, quando a esfera apresentou perda de 49,76% de sua massa. Nos tempos subsequentes, essa perda sofreu variação, apresentando valores de 43,29% de perda após 15 dias, 36,72% aos 30 dias, 43,63% para 60 dias e 37,49% depois de 90 dias no solo. Segundo LIU (2026), o processo de degradação do alginato de sódio depende de muitos fatores e pode ser acelerado pelo metabolismo microbiano e pela absorção de água. O teste de lixiviação indicou diferentes curvas de liberação dos nutrientes para os tratamentos analisados, conforme demonstrado na Figura 2. No primeiro ensaio de irrigação, o tratamento com AS1M2R2 perdeu 0,02% do P aplicado enquanto o NPK lixiviou 32% do P aplicado. Ao final das lixiviações, o P lixiviado acumulado para o tratamento com NPK alcançou 87,2% do P aplicado, enquanto o AS1M2R2 lixiviou apenas 30% do P aplicado. Para o nitrogênio, durante o primeiro evento de lixiviação, o tratamento com AS1M2R2 lixiviou menor quantidade de N que o tratamento com NPK. Apesar da perda inicial menor, o N lixiviado acumulado foi maior no tratamento com AS1M2R2 chegando a 26,9% do N aplicado, enquanto o NPK apresentou lixiviação de 12,6% do N aplicado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das análises apontam a capacidade de degradação da bioesfera de alginato de sódio e microalga, importante para sua aplicação como biofertilizante, já que a liberação dos nutrientes, aumenta à medida em que a matriz polimérica se degrada. O ensaio de lixiviação indicou que o biofertilizante diminuiu a quantidade de P lixiviada e prolongou a liberação do nutriente. Apesar das bioesferas de AS1M2R2 terem apresentado maior N lixiviado, o material foi capaz de reduzir a perda do nutriente durante as lixiviações iniciais.

Palavras-chave: alginato de sódio; biofertilizante; lixiviação; microalga.

ANEXO(S)

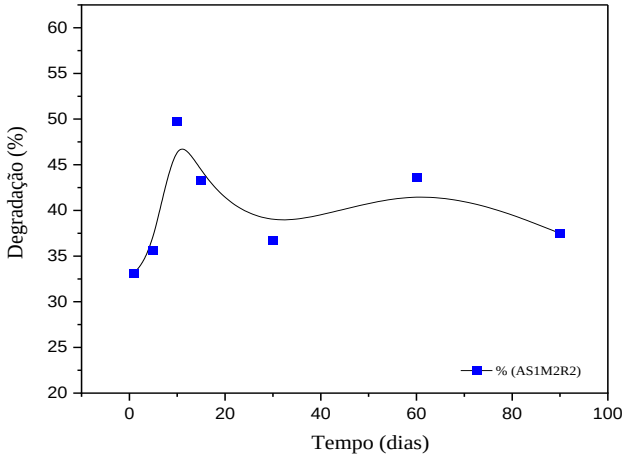


Figura 1: *Degradação da bioesfera de AS1M2R2 no solo ao longo do tempo;*

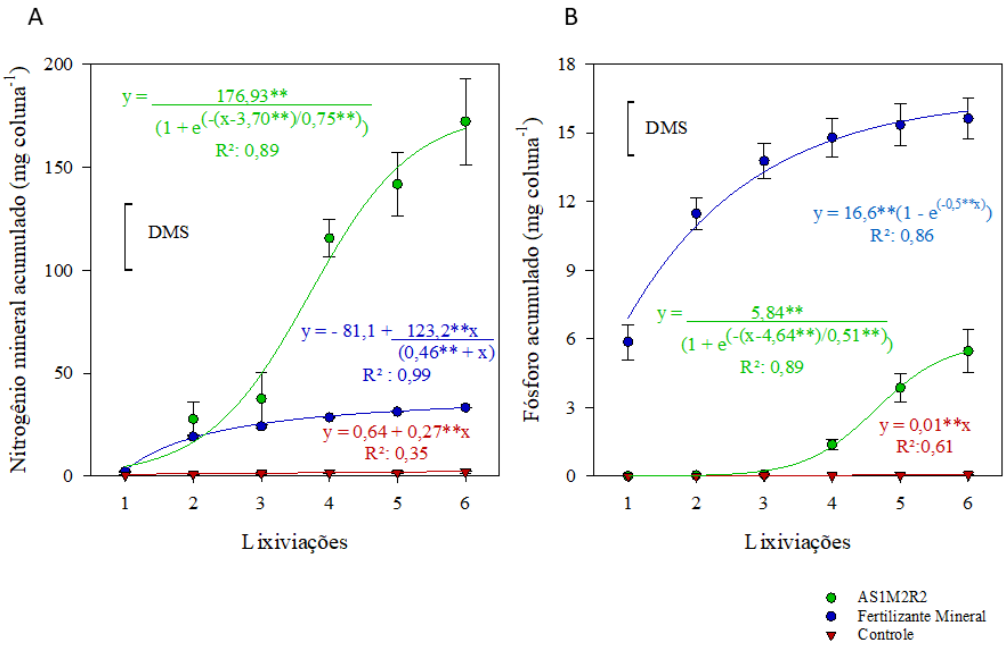


Figura 2: *Perda de nitrogênio (a) e fósforo (b) por lixiviação para tratamentos fertilizados (AS1M2R2 e convencional) e controle (sem adubação);*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORELLI, Laíze Matos. **Fertilizantes de eficiência aprimorada: perspectivas e potencial de uso de biopolímeros como matrizes de liberação lenta ou controlada.** 2020. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agronômica) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2020.

COSTA, Fernanda Senna Ferreira**. Desenvolvimento e avaliação de biofertilizantes à base de alginato de cálcio: uma abordagem sustentável para o cultivo de plantas.** 2023. Tese (Doutorado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2023.

DIAS, Mariane Rezende. **Obtenção e processamento de microesferas de alginato/vidro bioativo.** 2020. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

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, 2024.

LIU, Xiaolin et al. **Preparation, characterization, and swelling–release behavior of sodium alginate microspheres loaded with multiple nutrients under variable environmental conditions.** Polymer Testing, [S. l.], v. 154, 109058, 2026. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2025.109058.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters**. Analytica Chimica Acta, v. 27, p. 31-36, 1962. DOI: 10.1016/S0003-2670(00)88444-5.

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) - Curso de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PARIS, Bruno Prado Bordini. **Microalgas como biofertilizantes: uma revisão bibliográfica.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Instituto de Ciências Exatas e Naturais do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, MG, 2025.

SILVA, Ednaldo Cirino da et al. **O uso de fertilizantes e seus impactos ambientais**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Química) – Escola Técnica Estadual Benedito Storani, Jundiaí, 2021.

VIEIRA, Samuel dos Santos. **Estudo da imobilização celular da microalga Chlorella vulgaris em diferentes concentrações de alginato de sódio.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2025.