

TODOS OS FERTILIZANTES COMERCIAIS SÃO PASSÍVEIS DE ENCAPSULAMENTO?

VIVIANE PEREIRA DO NASCIMENTO¹, JEFERSON COSTA PEREIRA²,
ROSELENA FAEZ³, CLAUDINEI FONSECA SOUZA⁴

¹ Eng. Agrônoma, Pós-graduanda em Agricultura e Ambiente, PPGAA/UFSCar, Araras - SP, vivianenascimento@estudante.ufscar.br

² Graduando em Engenharia Agrônômica, UFSCar, Araras - SP, jefersonpereira@estudante.ufscar.br

³ Química com Doutorado em Química, faez@ufscar.br

⁴ Eng. Agrônomo com Doutorado em Engenharia Agrícola, cfsouza@ufscar.br

Apresentado no
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

RESUMO: O Brasil é um dos países com maior produção de pimenta mundialmente, resultando em significativo uso de fertilizantes. Uma abordagem promissora para a redução desses produtos no solo e na água é a produção de Fertilizantes de Eficiência Melhorada (FEM) revestidos com matrizes biodegradáveis. Neste contexto, este trabalho produziu FEM a partir dos nutrientes dos fertilizantes comerciais $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , MgSO_4 , fosfato monoamônio (MAP) e ConMicros para aplicação no cultivo sem solo da pimenta Maria Bonita (*Capsicum chinense*). Os FEM foram obtidos a partir do recobrimento utilizando matrizes poliméricas de PHB, amido e celulose nanofibrilada por tratamentos térmicos (secagem por pulverização e estufa e processamento por fusão). Foi realizada avaliação da condutividade dos fertilizantes encapsulados e não encapsulados. Os materiais contendo KNO_3 , MgSO_4 e ConMicros apresentaram comportamentos de liberação prolongada e viáveis para serem aplicados no plantio da pimenta Maria Bonita, enquanto que o encapsulamento de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e MAP não foram eficientes para esta aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: fem, *capsicum chinense*, agricultura sustentável.

ARE ALL COMMERCIAL FERTILIZERS SUITABLE FOR ENCAPSULATION?

ABSTRACT: Brazil is one of the countries with the highest pepper production globally, resulting in significant fertilizer usage. A promising approach to reducing these products in soil and water is the production of Enhanced Efficiency Fertilizers (EEFs) coated with biodegradable matrices. In this context, this study produced EEFs from the nutrients of commercial fertilizers $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , MgSO_4 , monoammonium phosphate (MAP), and ConMicros for application in soilless cultivation of Maria Bonita pepper (*Capsicum chinense*). The EEFs were obtained through coating using polymeric matrices of PHB, starch, and nanofibrillated cellulose via thermal treatments (spray drying, oven, and melt processing). Conductivity evaluation of encapsulated and non-encapsulated fertilizers was performed. Materials containing KNO_3 , MgSO_4 , and ConMicros exhibited prolonged release behavior and are viable for application in Maria Bonita pepper cultivation, while the encapsulation of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and MAP was not efficient for this application.

KEYWORDS: enhanced efficiency fertilizers, *capsicum chinense*, sustainable agriculture.

INTRODUÇÃO: As pimentas do gênero *Capsicum* spp. têm uma significativa relevância econômica e social para o agronegócio brasileiro, com uma produção anual de 280.000 ton

em uma área de 13.000 ha, sendo o estado de São Paulo o segundo maior produtor (PINTO et al., 2021). Com o intuito de atender à crescente demanda global por alimentos, o setor agrícola tem empregado grandes quantidades de fertilizantes para assegurar elevados rendimentos nas plantações. O potássio e o nitrogênio são os nutrientes mais exigidos pela pimenta, seguindo-se o fósforo, cálcio e, por último, o magnésio (VELOSO; CARVALHO, 1999). No entanto, o uso excessivo de fertilizantes que estão sujeitos a perdas, principalmente por volatilização e lixiviação, pode ocasionar sérios impactos ambientais como a contaminação do solo, toxicidade da água e eutrofização de estuários (JARIWALA et al., 2022). Frente à questão, é importante encontrar novas ferramentas que ajudem a mitigar os impactos negativos ao meio ambiente e promova a conservação e o equilíbrio no uso dos recursos naturais para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Aliado a técnica do cultivo sem solo, o emprego de Fertilizantes de Eficiência Melhorada (FEM) emergem como uma alternativa promissora para aumentar o rendimento das culturas, melhorar a eficiência e absorção no uso de nutrientes e reduzir a frequência de aplicações (MACHADO et al., 2022). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo produzir FEM a partir de biopolímeros para o recobrimento dos nutrientes e avaliar a liberação dos nutrientes em água e a eficiência no cultivo da pimenta Maria Bonita (*Capsicum chinense*).

MATERIAL E MÉTODOS: A celulose nanofibrilada (CNFs), provenientes de uma dispersão aquosa com 3,2% em massa, derivadas de polpas de eucalipto branqueadas foram fornecidas pela Suzano Papel e Celulose S.A. (Brasil). O amido de milho de grau alimentício comercial, o homopolímero de poli(3-hidroxibutirato) (PHB) da BIOCYSLE-PHB Industrial S.A. (Brasil) e os fertilizantes comerciais nitrato de cálcio, nitrato de potássio, sulfato de magnésio, fosfato monoamônio (MAP) e ConMicros da Yara Brasil Fertilizantes S.A. foram utilizados sem prévia purificação. A primeira etapa consistiu no encapsulamento dos fertilizantes por secagem com spray dryer para obtenção das microesferas, Ms. Os materiais foram dispersos em água destilada pelo sistema de purificação Milli-Q, com proporções de 2% em massa de CNFs e 40% em massa de cada fertilizante, agitados por 5 h a 30°C. A dispersão foi seca no Mini Spray Dryer - Buchi B-290 com parâmetros adaptados de França et al. (2021): 180°C, aspirador a 100%, bomba externa a 10 mL min⁻¹, fluxo de gás a 536 L h⁻¹ e fluxo de alimentação a 20%. Durante a secagem, a suspensão foi agitada constantemente para evitar obstrução capilar. Para o fertilizante Ca(NO₃)₂, devido à temperatura de fusão ser de 45°C, a secagem da mistura fertilizante/CNF ocorreu em estufa de circulação de ar forçada a 30°C por 24 h. As microesferas de CNF e KNO₃, MgSO₄, MAP e ConMicros foram adicionadas às matrizes poliméricas por processamento térmico utilizando uma câmara de mistura interna de um reômetro de torque HAAKE a 180°C e 60 rpm por 10 min. A composição das matrizes incorporadas nos três fertilizantes citados anteriormente foi de 50% de Ms, 25% de PHB e 25% de amido em massa. As amostras foram nomeadas Ms/PHB/KNO₃, Ms/PHB/MgSO₄, Ms/PHB/CON, Ms/MAP e Ca(NO₃)₂. A análise da liberação em água do material foi realizada adicionando uma fração das micropartículas encapsuladas e fertilizantes convencionais, equivalente a 0,5 g de material para cada 50 mL de água destilada, e avaliada ao longo de 60 min. A fase final do experimento envolveu a aplicação dos FEM durante o plantio da pimenta Maria Bonita, seguindo as recomendações nutricionais de Furlani et al. (1999), para posterior condução das avaliações agrônomicas e de eficiência do FEM no cultivo da hortalíça.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Figura 1 mostra os valores de condutividade dos FEM e fertilizantes ao longo de 1 h. Verifica-se que nos minutos iniciais, Figura 1a, logo após a imersão dos materiais, os compósitos iniciam um processo de intumescimento, e ao longo do tempo os nutrientes são liberados gradualmente, ocasionando um aumento progressivo da

condutividade elétrica, com ênfase aos fertilizantes KNO_3 , MAP e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ que apresentaram valores mais expressivos. Verifica-se que o processo de liberação dos íons dos nutrientes é prolongado, mesmo em um sistema aquoso. De acordo com Ângelo et al. (2021) pode haver um atraso na disponibilidade desses nutrientes no solo, uma vez que há uma correlação da liberação de nutrientes em água e no solo, ou seja, uma hora em água equivale a ~ 20 dias no solo, além de evidenciar que as mudanças na umidade do solo, atividade microbiológica, textura, ciclos de umedecimento e secagem afetarão a liberação de nutrientes. O retardo observado no material trata-se de uma das premissas e características dos FEM, uma vez que ocorre uma redução da velocidade na disponibilidade do conteúdo nutricional nos processos de absorção pelas plantas, bem como um prolongamento da liberação de nutrientes por um tempo maior que uma fonte convencional (KALIA et al., 2020). Na figura 1b nota-se que os fertilizantes apresentaram variações entre si, sendo que o MgSO_4 e ConMicros apresentaram valores mais baixos, atingindo máximas de 0,51 e 0,49 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Por outro lado, KNO_3 , MAP e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ obtiveram valores mais elevados, respectivamente 1,18, 0,87 e 0,83 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Comparando-se as Figuras 1a e 1b constata-se que $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e MAP apresentaram valores semelhantes, devido a inviabilidade para realizar o recobrimento por spray dryer e/ou processamento térmico, logo os mesmos foram fornecidos às plantas sem efeito prolongado.

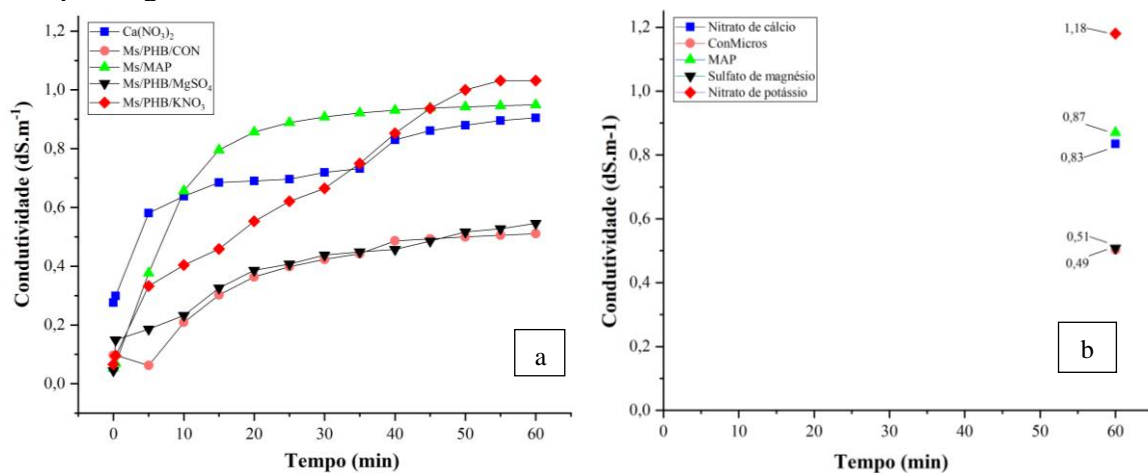


FIGURA 1. Condutividade dos fertilizantes encapsulados (a) e não encapsulados (b).

Este comportamento foi corroborado nos ensaios em campo com a pimenta Maria Bonita. Constatou-se que 3 dias após a aplicação dos FEM as plantas apresentaram sintomas de estresse salino como necroses, murchas e abortamento das folhas. Em condições de estresse salino as pimenteiças apresentam sintomas de injúrias decorrente do estresse salino, exibindo clorose nas pontas e bordas das folhas (BIONE et al., 2021). Esse fenômeno foi atribuído ao fornecimento e presença do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e MAP diretamente no substrato e próximo as raízes sem o adequado encapsulamento com os biopolímeros como recomendado. Quanto maior dose de nitrato de cálcio, mais negativo serão os efeitos deste para a massa seca da parte aérea e da raiz. Segundo Zhang et al. (2007), o suprimento excessivo de nitrogênio exerce um efeito inibitório no desenvolvimento de raízes laterais e redução da produção de matéria seca em plantas. Diante disso o mesmo em contato com água liberou de uma única vez os nutrientes em um curto intervalo de tempo (Figura 2), causando assim fitotoxicidade nas plantas.



FIGURA 2. Sintomas de fitotoxicidade na pimenta Maria Bonita.

CONCLUSÕES: Com base nos resultados obtidos da produção e da cinética de liberação dos nutrientes nos FEM, pode-se concluir que as matrizes sustentáveis para o encapsulamento dos fertilizantes $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e MAP, compostas por PHB, amido e CNFs, não são viáveis para aplicação no plantio da pimenta Maria Bonita.

REFERÊNCIAS:

- ANGELO, L. M.; FRANÇA, D.; FAEZ, R. Biodegradação e viabilidade de fertilizantes microencapsulados à base de quitosana. *Polímeros de Carboidratos*, v. 257, p. 117635, 2021.
- BIONE, M. A. A.; SOARES, T. M.; COVA, A. M. W.; PAZ, V. P. S.; GHEYI, H. R.; RAFAEL, M. R. S.; MODESTO, F. J. N., SANTANA, J. A.; NEVES, B. S. L. Produção hidropônica de pimenta 'Biquinho' com água salobra. *Gestão da Água Agrícola*, v. 245, p. 1-10, 2021.
- FRANÇA, D.; ANGELO, L. M.; SOUZA, C. F.; FAEZ, R. Nanofibrilas de poli(3-hidroxibutirato) /amido/celulose de base biológica para revestimentos de nutrientes. *ACS Applied Polymer Materials*, v. 6, p. 3227-3237, 2021.
- FURLANI, P.R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L.C.P.; FAQUIN, V. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. In: Cultivo protegido de hortaliças em solo e hidroponia. Belo Horizonte: EPAMIG, v.20, p.90-98, 1999. (*Informe Agropecuário*).
- JARIWALA, H.; SANTOS, R. M.; LAUZON, J. D.; DUTTA, A.; WAI CHIANG, Y. Fertilizantes de liberação controlada (CRFs) para práticas agrícolas climaticamente inteligentes. *Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição*, v. 29, p. 53967-53995, 2022.
- KALIA, A.; SHARMA, S. P.; KAUR, H.; E KAUR, H.; Novas formulações de fertilizantes e pesticidas de liberação controlada à base de nanocompósitos: Perspectivas e desafios. *Nanomateriais híbridos multifuncionais para ecossistemas e agroalimentares sustentáveis*, v. 1, p. 99-134, 2020.
- MACHADO, T. O.; GRABOW, J.; SAYER, C.; DE ARAÚJO, P. H.; EHRENHARD, M. L.; WURM, F. R. Nanocarreadores baseados em biopolímeros para liberação sustentada de agroquímicos: Uma revisão sobre materiais e perspectivas das ciências sociais para um futuro sustentável da agricultura e horticultura. *Advances in colloid and interface science*, v. 303, p. 102645, 2022.
- PINTO, C. M. F.; PINTO, C. L. O.; ARAÚJO, R. F.; DONZELES, S. M. L. Boas práticas agrícolas e de fabricação: importância para a sustentabilidade da cadeia produtiva de pimenta *Capsicum*. In: Sales, F. O. *Ciências exatas e da terra: exploração e qualificação de diferentes tecnologias*. Paraná: Atena, v. 3, p. 68-93, 2021.
- VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. Absorção e extração de alguns nutrientes pela cultivar 'guajarina' de pimenta-do-reino. *Ciência Agrícola*, v. 56, p. 443-447, 1999.
- ZHANG, H.; RONG, H.; PILBEAM, D. Mecanismos de sinalização subjacentes às respostas morfológicas do sistema radicular ao nitrogênio em *Arabidopsis thaliana*. *Jornal de Botânica Experimental*, v. 58, p. 2329–2338.