

FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA MELHORADA NO CULTIVO DE PIMENTA 'MARIA BONITA': UMA COMPARAÇÃO COM A FERTIRRIGAÇÃO

Lino Carlos Siteo¹, Gabriela Bueno de Godoy², Juliana Gilbert Pessoa³, Roselena Faez⁴,
Claudinei Fonseca Souza⁵

RESUMO: A intensificação agrícola tem impactado a sustentabilidade dos sistemas produtivos, reforçando a necessidade de tecnologias que conciliem produtividade e redução dos impactos ambientais, conforme a ODS 2 “Fome Zero e Agricultura Sustentável”. Este estudo avaliou o desempenho de diferentes estratégias nutricionais na pimenta Maria Bonita (*Capsicum chinense*) em cultivo protegido, utilizando fertirrigação (FERT), fertilizantes de eficiência melhorada com aplicação única (PAT) e parcelada (PAD). O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados com três tratamentos e 12 repetições. Os resultados mostraram que a FERT proporcionou maior número médio de frutos por planta (29,65), com equilíbrio de nitrogênio e fósforo. O PAD favoreceu frutos com maior comprimento e diâmetro, associado ao melhor aproveitamento do fósforo (4,90 g kg⁻¹). O PAT apresentou menor produtividade e teores de potássio abaixo da faixa adequada, indicando liberação nutricional limitada. Conclui-se que as estratégias nutricionais influenciam de forma distinta a produtividade e a qualidade dos frutos em cultivo protegido de pimenta Maria Bonita.

Palavras-chave: FEM, *Capsicum chinense*, sustentabilidade.

ENHANCED EFFICIENCY FERTILIZERS IN 'MARIA BONITA' PEPPER CULTIVATION: A COMPARISON WITH FERTIGATION

ABSTRACT: Agricultural intensification has impacted the sustainability of production systems, highlighting the need for technologies that balance productivity with reduced

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de São Carlos. Rodovia Anhanguera, km 174, Araras, SP. E-mail: linocs@estudante.ufscar.br

² Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP.

³ Mestre, Técnica, Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP.

⁴ Doutora, Profa. Titular, Departamento de Ciências Naturais, Matemática e Educação, UFSCar, Araras, SP.

⁵ Doutor, Prof. Titular, Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, UFSCar, Araras, SP.

environmental impacts, in line with Sustainable Development Goal 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture). This study evaluated the performance of different nutritional strategies on Maria Bonita pepper (*Capsicum chinense*) grown under protected cultivation. Treatments included fertigation (FERT), enhanced efficiency fertilizer applied once (PAT), and the same fertilizer applied in split doses (PAD). The experiment was conducted using a randomized block design with three treatments and 12 replications. Results indicated that FERT led to a higher average number of fruits per plant (29.65) and balanced nitrogen and phosphorus levels. PAD promoted fruits with greater length and diameter, associated with improved phosphorus uptake (4.90 g kg⁻¹). In contrast, PAT exhibited lower productivity and potassium levels below the adequate range, suggesting limited nutrient release. These findings demonstrate that nutritional strategies distinctly affect fruit productivity and quality in protected cultivation of Maria Bonita pepper.

Keywords: EEF, *Capsicum chinense*, sustainability.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, aliado à intensificação da agricultura, tem elevado substancialmente a demanda por fertilizantes sintéticos, com o objetivo de atender às exigências nutricionais das culturas e garantir altas produtividades. Contudo, estima-se que entre 30% e 50% desses insumos sejam perdidos por processos como volatilização, lixiviação ou imobilização no solo, comprometendo a eficiência agrônômica e gerando impactos ambientais significativos, como a contaminação de corpos hídricos e a eutrofização de ecossistemas aquáticos (Riseh et al., 2023).

Diante dessas limitações, torna-se urgente a adoção de tecnologias sustentáveis que promovam o uso racional de nutrientes. Nesse sentido, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (2 ODS), propostos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, destacam metas como “Fome Zero e Agricultura Sustentável”, reforçando a necessidade de estratégias produtivas que aliem eficiência e conservação ambiental (SDGs, 2015).

Entre as soluções tecnológicas promissoras, destacam-se a fertirrigação, os fertilizantes de eficiência melhorada (FEM) e o cultivo sem solo. A fertirrigação permite o fornecimento direcionado de nutrientes à zona de maior absorção radicular, favorecendo a eficiência do uso dos insumos (Trani, 2011). Os FEM, por sua vez, são formulados com mecanismos que controlam a liberação gradual dos nutrientes, ajustando-a à demanda fisiológica das plantas, o

que reduz perdas e mitiga impactos ambientais (Chen et al., 2018; Chiaregato & Faez, 2021; Zhang et al., 2023).

A associação entre FEM e sistemas de cultivo sem solo tem demonstrado resultados positivos na produtividade e qualidade das culturas, além de representar uma alternativa sustentável à agricultura convencional (Messa, Souza & Faez, 2020; Zhang et al., 2022). O cultivo sem solo, que emprega substratos como fibra de coco, serragem e casca de arroz, destaca-se pela maior uniformidade, controle nutricional e redução de doenças do solo, embora demande um manejo mais preciso da nutrição mineral, em razão da baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (Campos, 2016; Medeiros et al., 2011; Santos, 2018).

No contexto dessas tecnologias, destaca-se o cultivo da pimenta-biquinho (*Capsicum chinense*), especialmente a cultivar Maria Bonita, reconhecida pelo seu valor comercial e importância para a agricultura familiar (Ribeiro et al., 2016; Sala et al., 2020; Pinto et al., 2021.). Dada sua sensibilidade ao manejo nutricional, torna-se relevante avaliar estratégias que conciliem eficiência agrônômica e sustentabilidade.

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto de diferentes estratégias nutricionais no cultivo protegido da pimenta Maria Bonita, comparando o desempenho da fertirrigação (FERT) com o uso de fertilizantes de eficiência melhorada, aplicados de forma única (PAT) e parcelada (PAD).

MATERIAL E MÉTODOS

O cultivo da Pimenta Maria Bonita foi realizado em ambiente protegido entre dezembro de 2024 e março de 2025, na estufa agrícola do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) com estrutura metálica, cobertura de polietileno transparente e laterais compostas por tela de sombreamento, com dimensões de 6,4 m de largura, 18 m de comprimento e 3,4 m de altura, no campus Araras da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), localizado no município de Araras, SP (22°18'49'' S; 47°23'04,03'' W) (Figura 1).

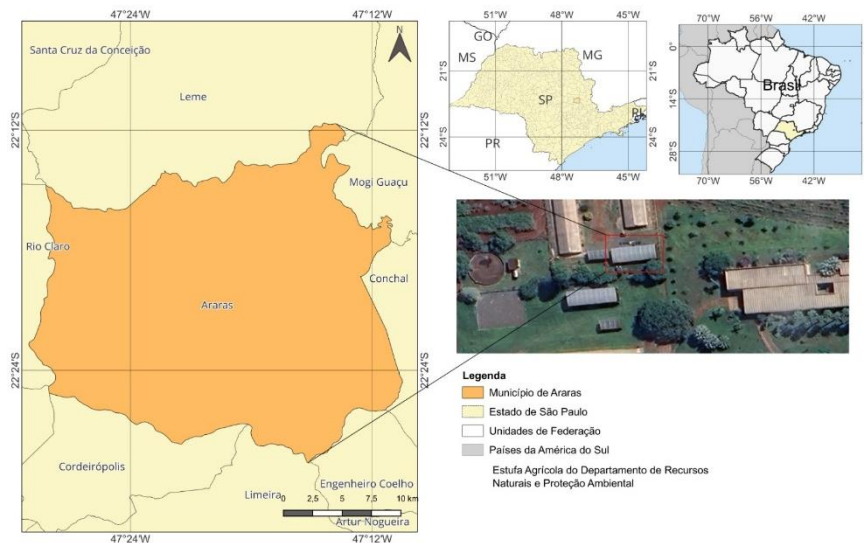


Figura 1 - Localização e características da área de estudo.

Adotou-se o sistema de cultivo sem solo, utilizando vasos plásticos com capacidade de 8 litros, preenchidos com substrato de fibra de coco previamente umedecido ($2,70 \text{ kg/m}^3$). As mudas da cultivar de pimenta Maria Bonita (*Capsicum chinense*), obtidas a partir de sementes comerciais semeadas individualmente em bandejas com 120 células, foram transplantadas para os vasos quando apresentavam de 5 a 10 folhas definitivas e altura aproximada de 15 cm, o que ocorreu entre 50 e 60 dias após a semeadura.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com três tratamentos e 12 repetições, totalizando 36 parcelas. Cada parcela foi composta por quatro vasos, somando 144 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em: aplicação de nutrientes via fertirrigação (FERT); aplicação única de FEM no transplântio (PAT) da muda; e aplicação parcelada do FEM, sendo metade da dose no transplântio e a outra metade aos 45 dias após o transplântio (PAD) da muda.

Os fertilizantes utilizados nos tratamentos PAT e PAD foram formulados a partir de nitrato de potássio (KNO_3) e fosfato monoamônico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), encapsulados em matriz biodegradável composta por celulose nanofibrilada (CNF) e termoplástico de amido (TPS), processados por secagem em spray dryer e homogeneização em misturador Haake®.

A solução nutritiva foi preparada em reservatórios de 350 L, com composição adaptada de Furlani et al. (1999), Tabela 1. Nos tratamentos com FEM, os fertilizantes encapsulados foram incorporados diretamente ao substrato, enquanto os demais nutrientes foram fornecidos por fertirrigação.

Tabela 1 - Solução nutritiva para o cultivo da pimenta

Fertilizantes	Concentração (g 1000L⁻¹)
Nitrato de Cálcio (Ca(NO ₃) ₂)	500
Nitrato de Potássio (KNO ₃)	500
Sulfato de magnésio (MgSO ₄)	350
MAP (NH ₄ H ₂ PO ₄)	100
ConMicros	20

Fonte: adaptada de Furlani et al. (1999)

Durante os dois primeiros dias após o transplantio, aplicou-se apenas água para promover o enraizamento das mudas. A partir do terceiro dia, iniciou-se a aplicação de fertilizantes, conforme o protocolo de cada tratamento. O sistema de irrigação, do tipo gotejamento, utilizou emissores autocompensantes (modelo Clicktif – NaanDanJain by Rivulis) com vazão de 4,0 L h⁻¹ e espaçamento de 0,90 m. Cada emissor abastecia quatro vasos por meio de conectores com múltiplas saídas de 1 L h⁻¹. O sistema foi dividido em duas linhas independentes, cada uma equipada com cabeçal contendo controlador digital, válvula antivácuo, filtro de disco, manômetro e motobomba.

A primeira linha foi destinada aos tratamentos PAT e PAD, onde os fertilizantes encapsulados (KNO₃ e NH₄H₂PO₄) foram aplicados diretamente ao substrato, com suplementação nutricional por fertirrigação. A segunda linha atendeu exclusivamente ao tratamento FERT, garantindo fornecimento contínuo e uniforme de nutrientes ao longo do ciclo da cultura.

A resposta das plantas foi avaliada por meio de análises morfofisiológicas e nutricionais. As características morfológicas dos frutos foram determinadas com auxílio de paquímetro digital, medindo o diâmetro (maior largura transversal) e o comprimento (do ápice ao pedúnculo), com base em amostras de 12 frutos por unidade experimental. O número médio de frutos por planta foi obtido pela contagem total dos frutos colhidos em cada parcela, dividida pelo número de plantas avaliadas.

A composição nutricional das plantas foi monitorada por meio de análise foliar aos 30, 60 e 90 dias após o transplantio. Foram coletadas duas folhas por planta, totalizando 96 amostras por tratamento. As folhas foram secas a 60 °C por 48 horas e enviadas ao laboratório (Pirasolos Ltda., Piracicaba/SP) para análise dos teores de macro e micronutrientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra as análises biométricas da pimenta Maria Bonita. Verifica-se que os tratamentos influenciaram significativamente o desempenho biométrico da pimenta, conforme evidenciado pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A FERT resultou no maior número médio de frutos por planta (29,65), superando os tratamentos com FEM, PAT (18,29) e PAD (17,15). Esse resultado é atribuído ao suprimento contínuo de nutrientes via solução nutritiva (Valdovinos-Nava et al., 2020).

Tabela 2 - Análises biométricas realizadas na pimenta Maria Bonita em cultivo protegido.

Tratamentos	NFRP	DFR (cm)	CFR (cm)
FERT	29,65 a	2,63 b	3,42 b
PAT	18,29 b	2,62 b	3,80 a
PAD	17,15 b	2,84 a	3,81 a
ANOVA			
CV(%)	18,48	5,27	3,33
Shapiro – Wilk			
P-valor	0,6	0,68	0,07

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. NFRP - número de frutos por planta; DFR - Diâmetro dos frutos (cm); CFR - comprimento dos frutos (cm).

Entretanto, os tratamentos PAT e PAD apresentaram frutos com dimensões superiores. O comprimento médio foi inferior a 3,4 cm no FERT, enquanto os tratamentos com FEM atingiram valores próximos de 4,0 cm. O diâmetro dos frutos também foi maior no PAD (2,84 cm), seguido por FERT (2,63 cm) e PAT (2,62 cm).

Apesar das diferenças entre FERT e PAT serem discretas, os tratamentos com FEM demonstraram maior uniformidade e porte mais desenvolvido dos frutos. Esse resultado pode estar relacionado à liberação gradual de nutrientes proporcionada pelos FEM, o que aumenta a eficiência de absorção e reduz perdas, especialmente em substratos como a fibra de coco, que exige maior precisão nutricional (Govil et al., 2024; Macedo et al., 2021).

Além do tipo de fertilizante, a dinâmica da umidade no substrato também exerce influência significativa sobre a disponibilidade de nutrientes. Embora a fibra de coco apresente boa capacidade de retenção hídrica, sua drenagem acelerada pode intensificar as perdas nutricionais quando os fertilizantes são aplicados de maneira única.

Nesse contexto, o parcelamento dos FEM, como adotado no tratamento PAD, favorece a liberação progressiva de nutrientes e melhora a eficiência no uso da água e dos elementos minerais, contribuindo para o desenvolvimento de frutos com maior potencial de aceitação

comercial, considerando seu porte e uniformidade (Wang et al., 2021; Negi; Thakur; Bhardwaj, 2022).

Embora a fertirrigação proporcione o fornecimento imediato de nutrientes, sua eficiência pode ser reduzida em sistemas com alta drenagem, como o cultivo em fibra de coco, devido à maior lixiviação de elementos móveis, como nitrogênio e potássio (Chen et al., 2017; Wang et al., 2021).

Essas diferenças nas estratégias de manejo nutricional também se refletiram nos resultados da análise foliar, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Concentrações foliares de macronutrientes, comparadas com os níveis considerados apropriados conforme as recomendações do Boletim 100.

Tratamento	N	P	K
	g kg ⁻¹	
FERT	32,16	3,57	28,17
PAD	28,8	4,9	23,67
PAT	29,04	5,57	19,5
Boletim 100	30–45	3–6	30–50

A FERT proporcionou um perfil nutricional mais equilibrado, com teores de nitrogênio (32,16 g kg⁻¹) e fósforo (3,57 g kg⁻¹) dentro das faixas adequadas estabelecidas pelo Boletim 100 (Raij et al., 1997), embora o potássio (28,17 g kg⁻¹) tenha ficado levemente abaixo da faixa ideal (30–50 g kg⁻¹).

Em contraste com a FERT, os tratamentos com FEM apresentaram respostas nutricionais diferentes. O tratamento PAD, apresentou teor de fósforo dentro da faixa adequada (4,90 g/kg), enquanto os teores de nitrogênio (28,80 g/kg) e potássio (27,28 g/kg) situaram-se próximos aos limites inferiores.

A liberação gradual de nutrientes, característica dos FEM, aliada à baixa capacidade de adsorção de fósforo pela fibra de coco, pode ter favorecido a disponibilidade e absorção desse nutriente pelas plantas. Em substratos com essas características, a aplicação parcelada dos FEM contribui para manter concentrações mais estáveis de fósforo na zona radicular ao longo do ciclo da cultura. Isso reduz perdas por lixiviação e promove uma melhor sincronia entre a liberação do nutriente e as demandas fisiológicas da planta (Chen et al., 2017; Calabi-Floody et al., 2018; Xiang et al, 2017).

O tratamento PAT apresentou o maior teor de fósforo entre os tratamentos (5,57 g kg⁻¹), indicando boa liberação e disponibilidade inicial desse nutriente. Contudo, o teor de nitrogênio (29,04 g kg⁻¹) situou-se próximo ao limite inferior da faixa adequada, enquanto o potássio (19,50 g kg⁻¹) permaneceu abaixo da suficiência, sugerindo possível limitação desse nutriente

em estágios mais avançados do desenvolvimento, possivelmente em decorrência da ausência de reaplicações. Conforme ressaltado por Cunha et al. (2021), a eficiência dos FEM depende da compatibilidade entre a taxa de liberação dos nutrientes e as exigências fisiológicas da planta ao longo do ciclo.

Portanto, análises foliares sistemáticas e monitoramento contínuo são essenciais para validar essas tendências e compreender a dinâmica temporal da disponibilidade e absorção dos nutrientes. Essa avaliação detalhada é crucial para a otimização das estratégias de manejo nutricional, especialmente considerando o papel fundamental do potássio na regulação osmótica, ativação enzimática, fotossíntese e na resposta da planta a estresses abióticos e bióticos, sendo sua deficiência capaz de comprometer o crescimento, rendimento e qualidade dos frutos (Marschner, 2012).

CONCLUSÕES

As estratégias nutricionais influenciaram de forma distinta o desempenho da pimenta Maria Bonita. A FERT resultou em maior número de frutos por planta, enquanto o tratamento PAD foi responsável pelo aumento no diâmetro e comprimento dos frutos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA/CCA – UFSCar) e a FAPESP (Processo 2014/02535-5) pelo suporte institucional e financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALABI-FLOODY, M.; MEDINA, J.; RUIZ, S.; ZAVALA, C.; RODRÍGUEZ, F. Smart fertilizers: Controlled release and nutrient use efficiency in agriculture. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 18, n. 1, p. 254–267, 2018.

- CAMPOS, M. A. Cultivo sem solo: possibilidades para o agronegócio brasileiro. **Revista Brasileira de Horticultura**, v. 30, n. 2, p. 118–125, 2016.
- CHEN, J.; LÜ, S.; ZHANG, Z.; ZHAO, X.; LI, X.; NING, P.; LIU, M. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. **Science of The Total Environment**, v. 613–614, p. 1657–1666, 2017.
- CHIAREGATO, C. G.; FAEZ, R. Micronutrients encapsulation by starch as an enhanced efficiency fertilizer. **Carbohydrate Polymers**, v. 271, p. 118419, 2021.
- CUNHA, F. L.; NIERI, E. M.; SANTOS, J. A.; ALMEIDA, R. S.; MELO, L. A.; VENTURIN, N. **Uso dos adubos de liberação lenta no setor florestal**. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 41, e201902063.
- FURLANI, P. R.; BOLONHESI, L. C. P.; FANQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. (Boletim Técnico, n. 180).
- GOVIL, S.; LONG, N. V. D.; ESCRIBÀ-GELONCH, M.; HESSEL, V. Controlled-release fertiliser: **Recent developments and perspectives**. Industrial Crops and Products, v. 205, p. 119160, 2024.
- MACEDO, L. A.; FERREIRA, B. O.; FRANÇA, A. C.; SARDINHA, L. T.; LEÃO, A. F.; OLIVEIRA, L. L. Influence of the use of slow-release phosphate fertilizers on the growth and production of chili peppers. **Colloquium Agrariae**, v. 17, n. 2, p. 39–50, 2021.
- MARSCHNER, Horst. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.
- MEDEIROS, J. F.; SILVA, D. S.; COSTA, K. C. da. Índice SPAD e grau Brix da cultura do rabanete sob lâminas de água e doses de adubação nitrogenada. **Ciência Agrícola**, v. 18, n. 3, p. 13–17, 2020.
- NEGI, P.; THAKUR, R.; BHARDWAJ, S. K. Coated controlled-release fertilizers: Potential solution for sustainable agriculture. **Nature Environment and Pollution Technology**, v. 21, n. 4, p. 2022.
- PINTO, C. M. F.; ARAÚJO, R. F.; ARAÚJO, E. F.; ARAÚJO, A. V.; SANTOS, J. A. dos. Caracterização morfo agrônomo de genótipos de pimenta biquinho (*Capsicum chinense* Jacq.). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 48–54, 2021.
- RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo** (Boletim Técnico 100). Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, 1997.

- RIBEIRO, C.S. C.; LOPES, C. A.; CARVALHO, S.I. C.; HENZ, G. P.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. **Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. 200 p.
- RISEH, R. S.; YADAV, R. K.; KUMAR, A.; KUMAR, V.; KUMAR, A.; YADAV, S.; SINGH, J. Biochar-based controlled-release fertilizers for sustainable agriculture: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 343, p. 118557, 2023.
- SALA, F. C.; COSTA, C. P.; MARTINEZ, M.; LIMA, T. J. L. E.; AMARAL, E.; PORTELLA, M. A.; GAZMENGA, A. P. Maria Bonita: a nova pimenta brasileira. **Revista Campo e Negócios**, Uberlândia, p. 32–36, 2020.
- SANTOS, R. S. S.; DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; LIMA, C. J. G. S.; FERNANDES, C. S.; MIRANDA, J. H. Cultivo da rúcula em substrato de fibra de coco sob solução nutritiva salina. **Cultura Agronômica**, v. 27, n. 1, p. 12–21, 2018.
- TRANI, P. E. Fertirrigação em hortaliças. In: TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W. (org.). **Fertirrigação em hortaliças**. Campinas: Instituto Agronômico, 2011. p. 15–23.
- VALDOVINOS-NAVA, M.; CABRERA, R. I.; NAVARRO, A.; GARZA, H.; VILLARREAL, R. Fertigation and nitrogen use efficiency in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under greenhouse conditions. **Horticulturae**, v. 6, n. 3, p. 1–13, 2020.
- WANG, Y.; ZHOU, C.; LI, F.; YANG, H.; JIA, Z.; YIN, X.; ZHAO, H. Growth, yield and nutrient uptake of pepper under combined fertigation and controlled-release fertilization. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 310, 2021.
- XIONG, J.; TIAN, Y.; WANG, J.; LIU, W.; CHEN, Q. Comparison of coconut coir, rockwool, and peat cultivations for tomato production: Nutrient balance, plant growth and fruit quality. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 1327, 2017.
- ZHANG, H.; SHEN, H.; LAN, J.; WU, H.; WANG, L.; ZHOU, J. Dual-network polyacrylamide/carboxymethyl chitosan-grafted-polyaniline conductive hydrogels for wearable strain sensors. **Carbohydrate Polymers**, v. 295, p. 119848, 2022.
- ZHANG, Z.; WANG, Y.; LU, H.; SUN, Z.; LIU, M. Advances in the development of biodegradable polymer-coated controlled-release fertilizers. **Journal of Controlled Release**, v. 355, p. 1–17, 2023.