

Revista
Ciência, Tecnologia & Ambiente

**Fertilizante de liberação controlada de nutrientes na
produção sustentável de repolho irrigado:
um estudo experimental**

Controlled-Release Nutrient Fertilizer in Sustainable Irrigated Cabbage Production:
An Experimental Study

João Vitor Quilici Freschi¹, Roselena Faez¹, Claudinei Fonseca Souza^{1*}

¹ Centro de Ciências Agrárias – CCA, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Araras, SP, Brasil.

*Autor para correspondência: cfsouza@ufscar.br

Como citar: FRESCHI, J.V.Q.; FAEZ, R.; SOUZA, C.F., 2024. Fertilizante de liberação controlada de nutrientes na produção sustentável de repolho irrigado: um estudo experimental. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, vol. 14, e14271. https://doi.org/10.4322/2359-6643.14271.

RESUMO

A agricultura busca soluções eficientes para reduzir perdas no solo. A tecnologia que utiliza fertilizantes de liberação controlada de nutrientes promete minimizar a lixiviação de nutrientes e aplicar os fertilizantes mais eficientemente, tornando a agricultura mais sustentável. Este estudo avaliou o efeito de diferentes dosagens de fertilizantes de liberação controlada da linha Multicote® Agri/Multigro® da Haifa na produção de repolho irrigado em estufa. Foram testados três tratamentos: T1 (100% da dose recomendada), T2 (80%), e T3 (60%), em um experimento com blocos inteiramente casualizados e quatro repetições. Foram realizados dois ciclos da cultura. No segundo ciclo, sem adição de fertilizantes, avaliou-se a disponibilidade residual dos nutrientes aplicados no primeiro ciclo. Os parâmetros analisados incluíram massa fresca das cabeças de repolho, análises químicas do tecido vegetal e condutividade elétrica do solo. Os resultados não mostraram diferença estatisticamente significativa na massa fresca das cabeças de repolho entre os três tratamentos. Isso sugere que, mesmo com uma redução de até 40% na dosagem de fertilizantes (como no tratamento T3), a produção de repolho não foi afetada negativamente. Conclui-se que o tratamento com 60% da dose recomendada proporcionou uma economia significativa de 20% a 40% no uso de fertilizantes, comparado aos demais tratamentos testados.

Palavras-chave: agricultura sustentável, adubação, fertilizadores, eficiência de fertilização.

ABSTRACT

Agriculture seeks efficient solutions to reduce soil losses. The technology using controlled-release fertilizers promises to minimize nutrient leaching and apply fertilizers more efficiently, making agriculture more sustainable. This study evaluated the effect of different dosages of controlled-release fertilizers from the Multicote® Agri/Multigro® line by Haifa on greenhouse-grown cabbage production. Three treatments were tested: T1 (100% of the recommended dose), T2 (80%), and T3 (60%), in an experiment with completely randomized blocks and four replications. Two growing cycles were conducted. In the second cycle, without additional fertilizer application, the residual availability of nutrients from the first cycle was assessed. Parameters analyzed included fresh head mass of cabbage, chemical analyses of plant tissue, and soil electrical conductivity. Results showed no statistically significant difference in fresh head mass among the three treatments. This suggests that even with a reduction of up to 40% in fertilizer dosage (as in treatment T3), cabbage production was not negatively affected. It was concluded that the treatment with 60% of the recommended dose provided a significant savings of 20% to 40% in fertilizer use compared to the other tested doses.

Keywords: sustainable agriculture, fertilization, controlled-release fertilizers, fertilization efficiency.



INTRODUÇÃO

O grande desafio da agricultura moderna é produzir cada vez mais sem aumentar a área de plantio, para suprir as demandas da população (Messa et al., 2023). E para tanto, é necessário o uso consciente de recursos naturais, como fertilizantes, para nutrir as plantas.

A olericultura desempenha um papel estratégico no desenvolvimento agrícola, econômico, social e ambiental do Brasil, sustentando comunidades rurais e contribuindo para a saúde e o bem-estar da população. De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, a área total dedicada às 10 principais culturas hortícolas no Brasil era de 1,6 milhão de hectares. Nessa área, foram produzidas 30,5 milhões de toneladas de hortaliças, dessas 467 mil toneladas foram relacionadas à cultura do repolho (IBGE, 2017).

O repolho (*Brassica oleraceae* var. capitata) é uma olerícola muito consumida e de alto valor nutritivo (Correa et al., 2013). Sua produção se concentra nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Goiás, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, que representam 94% do total. A colheita se estende por todo o ano, ocorrendo de dois a quatro meses após o plantio, dependendo da variedade escolhida e época de cultivo, com desenvolvimento mais rápido no verão.

Um dos maiores desafios para a produção é o consumo de fertilizantes para nutrir essa hortaliça. As entregas de fertilizantes para o mercado brasileiro aumentaram 11,6% em 2023, alcançando um total de 45,82 milhões de toneladas, conforme relatado pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2023).

O potássio é o macronutriente mais extraído pela maioria das hortaliças, incluindo o repolho (Aquino et al., 2009). O potássio favorece a formação e translocação de carboidratos e o uso eficiente da água pela planta; equilibra a aplicação de nitrogênio e melhora a qualidade do produto e, conseqüentemente, o valor de mercado (Filgueira, 2008). Sendo o repolho uma hortaliça herbácea, o nitrogênio também tende a ser um nutriente de grande influência na produtividade e qualidade. Ele estimula o crescimento foliar, é componente de aminoácidos e de proteínas (Aquino et al., 2005a).

As perdas desses e outros nutrientes ocorrem naturalmente, devido à exportação dos elementos contidos nos produtos agrícolas que saem do campo, ao carreamento superficial, à adsorção, à lixiviação no solo e à perda por volatilização (Spadotto e Gomes, 2006). Para evitar essas perdas, é necessário o uso de tecnologias eficientes, como os fertilizantes de liberação controlada. Esses materiais têm baixa solubilidade, menor perda de nutrientes e os disponibilizam de acordo com a necessidade da planta (Freitas, 2017).

Com as novas tecnologias presentes no mercado, e uma vez que os fertilizantes de liberação controlada sofrem menores perdas por lixiviação, imobilização e volatilização (Messa et al., 2016), são necessários estudos sobre as recomendações para evitar excessos ou subdosagens, o que acarretaria perdas financeiras para o produtor.

A hipótese deste trabalho é baseada na redução da lixiviação de nutrientes proporcionada pela utilização de fertilizantes de liberação controlada que possibilita a redução da dosagem recomendada pelo boletim técnico 100 do IAC (van Raij et al., 1997). Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar diferentes dosagens de nutrientes de adubação via fertilizantes de liberação controlada e sua relação com a produtividade do cultivo do repolho irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma estufa agrícola com estrutura de aço galvanizado, medindo 6,4 x 18 m e com altura de 3 m. O teto e as laterais são revestidos com polietileno. O solo dentro da estufa é classificado como Latossolo vermelho, de textura muito argilosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). O clima na região é do tipo subtropical úmido, mesotérmico, com verões quentes e úmidos e invernos secos, de acordo com a classificação de Köppen.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos inteiramente casualizados, com três tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram no uso de diferentes doses de fertilizantes de liberação controlada nos canteiros: T1 utilizou 100% da dose recomendada

para a cultura, T2 utilizou 80% da dose recomendada, e T3 utilizou 60% da dose recomendada.

O experimento teve início com a coleta de amostras de solo, realizada utilizando um trado de rosca para extrair 20 subamostras em zigue-zague na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Essas subamostras foram combinadas para formar uma amostra composta, que foi encaminhada ao laboratório para análises químicas e físicas. O propósito dessas análises foi auxiliar no manejo da irrigação com a obtenção das propriedades de armazenamento da água no solo e na determinação da dosagem nutricional utilizando os fertilizantes de liberação controlada. Os resultados das análises de solo estão na Tabela 1.

Não foi necessário realizar correção do pH do solo. Em seguida, foram preparados doze canteiros, cada um com dimensões de 2,1 m de largura por 2,1 m de comprimento e 0,30 m de altura, totalizando uma área de 4,41 m². Sobre cada canteiro, foram instaladas quatro linhas de gotejadores, espaçadas em 0,70 m. A irrigação por gotejamento foi realizada por meio de linhas específicas para cada tratamento, posicionadas conforme esquematizado na Figura 1.

As mudas de Repolho Híbrido Astrus Plus foram transplantadas manualmente em abril de 2019, seguindo um espaçamento de 0,70 m entre as linhas e 0,30 m entre as plantas, organizadas de forma triangular. Durante o

processo de transplante das mudas, foram feitas covas de 0,20 m de profundidade com o uso de uma cavadeira.

Para os diferentes tratamentos, que consistiram em doses de 100%, 80% e 60% da quantidade recomendada

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo, profundidade 0-0,20 m.

Atributos	Unidades	Teor
Areia	%	20
Silte	%	19
Argila	%	61
Capacidade de campo	m ³ m ⁻³	0,35
Ponto de murcha permanente	m ³ m ⁻³	0,17
Porosidade	m ³ m ⁻³	0,51
Densidade do solo	kg m ⁻³	1300
Densidade de partículas	kg m ⁻³	2650
Capacidade de infiltração	cm h ⁻¹	13,20
pH em água	-	5,30
Fósforo	mg dm ⁻³	127,00
Matéria orgânica	g dm ⁻³	21
Acidez potencial	mmol _c dm ⁻³	20,00
Potássio	mmol _c dm ⁻³	2,60
Cálcio	mmol _c dm ⁻³	65,00
Magnésio	mmol _c dm ⁻³	33,00
Soma de bases	mmol _c dm ⁻³	100,60
Capacidade de troca catiônica	mmol _c dm ⁻³	120,60
Saturação de bases	%	83,40
Al	mmol _c dm ⁻³	0,20

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo e Laboratório de Física do Solo, CCA/UFSCar.

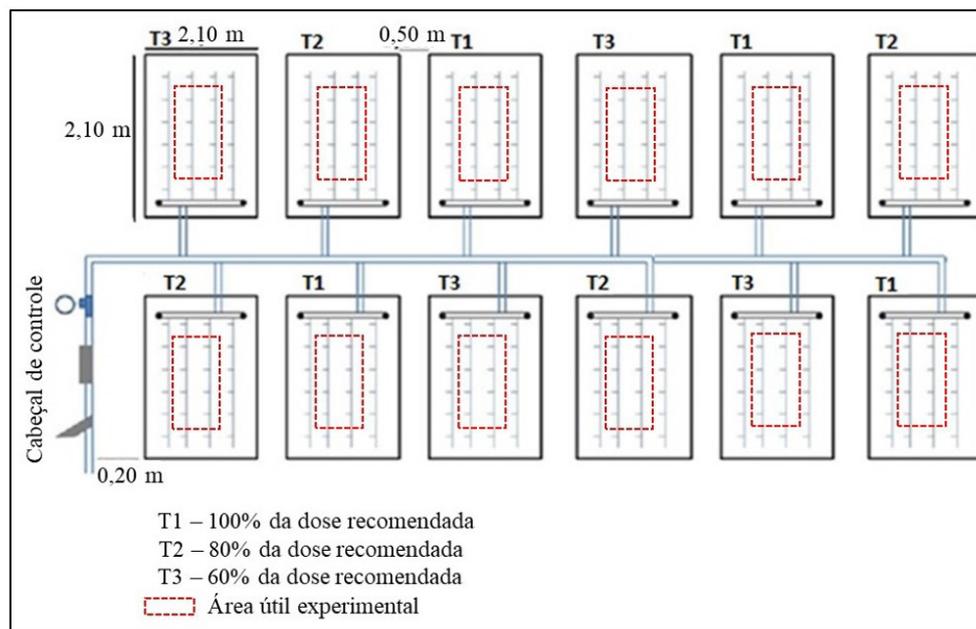


Figura 1. Esquema de distribuição experimental dos tratamentos/canteiros dentro da estufa agrícola e suas respectivas linhas de irrigação.

pelo boletim IAC 100 (van Raij et al., 1997), foi utilizado o fertilizante de liberação controlada Multicote® Agri/Multigro® da Haifa. A recomendação baseada na análise química do solo foi 167,5 kg de nitrogênio (N), 200 kg de fósforo (P) e 270 kg de potássio (K) por hectare (ha), considerando plantio e cobertura.

Os fertilizantes de liberação controlada utilizados foram: nitrato de potássio (42% de K₂O e 13% de N), ureia (46% de N) e fosfato monoamônico - MAP (61% de P₂O₅ e 12% de N). Estes fertilizantes foram aplicados e incorporados ao solo no momento do transplantio. No tratamento com 100% da recomendação (T1), foram aplicadas as quantidades de 13,5 g de nitrato de potássio, 2,1 g de ureia e 7 g de MAP por cova. Para os tratamentos T2 e T3, foram aplicadas suas respectivas dosagens correspondentes a 80 e 60% da recomendação. Os demais nutrientes recomendados, Boro (B) – 3,5 kg e Enxofre (S) - 45 kg por ha, foram aplicados utilizando fertilizantes convencionais no momento do transplantio.

Durante a condução do experimento, foram realizados os tratamentos fitossanitários necessários para o controle de pragas e doenças. Adicionalmente, realizou-se a remoção manual de plantas invasoras para garantir condições ideais de crescimento para as mudas de repolho.

A liberação dos nutrientes presentes nos fertilizantes foi monitorada ao longo do ciclo da cultura utilizando sensores de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) para estimar a condutividade elétrica do solo (CE). Esses mesmos sensores foram responsáveis pelo monitoramento da umidade do solo, fundamental para o manejo adequado da irrigação.

Considerou-se a Equação 1 para o cálculo da lâmina de água necessária para a irrigação:

$$L = (\theta_{cc} - \theta) \times z \times 1000 \quad (1)$$

em que:

L – lâmina de água necessária para a irrigação (mm);
 θ_{cc} – umidade do solo na capacidade de campo (0,35 m³ m⁻³);
 θ – umidade do solo medida pelo sensor TDR (m³ m⁻³);
z – profundidade efetiva das raízes da cultura (m).

Essa equação permite calcular a quantidade de água que deve ser aplicada durante a irrigação para manter a

umidade do solo próxima à capacidade de campo, que é ideal para o desenvolvimento da cultura do repolho.

A irrigação foi realizada por meio de um sistema localizado com gotejadores equipados com emissores autocompensantes de vazão de 1,5 L h⁻¹, posicionados próximos à base de cada planta, com um gotejador por planta. Duas sondas de TDR, com 0,20 m de comprimento, foram instaladas verticalmente na área útil de cada canteiro. A área útil experimental foi projetada para evitar o efeito de bordadura, contendo 10 plantas centrais em uma área total de 2,10 m², conforme ilustrado na Figura 1.

Durante o experimento, dados meteorológicos de temperatura e umidade relativa do ar foram coletados por uma estação localizada próxima à estufa agrícola.

Após 71 dias do transplantio das mudas, os repolhos foram colhidos, selecionando-se 10 cabeças correspondentes à área útil de cada canteiro. Essas cabeças foram pesadas em uma balança de precisão para determinar a massa verde de cada canteiro. Em seguida, amostras de tecido vegetal, compostas por folhas envoltórias, foram coletadas e submetidas a análise química em laboratório para avaliar as concentrações de nutrientes. Essas concentrações variaram de acordo com as diferentes dosagens de fertilizantes aplicadas durante o experimento. Além disso, a condutividade elétrica média do solo foi avaliada por meio de regressão linear para comparar a liberação dos nutrientes entre os diferentes tratamentos.

Os dados de produção da cultura foram analisados por análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos. Essa análise estatística foi realizada utilizando o software R, versão 3.4.2 (R Core Team, 2017).

No mesmo dia da colheita em junho de 2019, foi iniciado um segundo ciclo da cultura sem adição de fertilizantes, com o objetivo de avaliar a disponibilidade residual dos fertilizantes aplicados no primeiro ciclo. As mudas foram transplantadas no mesmo local onde as plantas foram colhidas, seguindo o mesmo protocolo experimental descrito anteriormente, e as avaliações foram realizadas de maneira semelhante ao primeiro ciclo (massa fresca da cabeça, análise química do tecido vegetal e condutividade elétrica do solo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média foi de 22 °C para os dois ciclos conduzidos, com uma temperatura máxima diária de 29 °C e mínima de 14 °C. Quanto à umidade relativa do ar, a média foi de 85,6%, com valores máximos alcançando 99,5% e mínimos registrados em torno de 50,9%. Tais condições se enquadram como ideais para o desenvolvimento do repolho, e não foram observados prejuízos fitossanitários às plantas devido à temperatura e umidade relativa. Esses dados fornecem um contexto ambiental importante para a compreensão dos resultados obtidos no experimento.

A Figura 2 fornece detalhes visuais das plantas de cada tratamento antes da colheita. Analisando estatisticamente, não foram encontradas diferenças significativas entre as massas verdes de cada tratamento em ambas as repetições (conforme apresentado na Tabela 2). Isso sugere que o uso de fertilizantes de liberação controlada pode resultar

em uma economia de até 40% no uso de fertilizantes durante o ciclo. Considerando o levantamento de custos realizado por Kuster et al. (2018), que inclui preparo do solo, produção de mudas, adubação, mão de obra e controle fitossanitário, onde a adubação representa cerca de 20% do custo total de produção do repolho, essa economia é significativa.

No entanto, observou-se que não há resíduos suficientes no solo em nenhum dos tratamentos para permitir duas safras. Mesmo o tratamento T1, que tinha uma carga inicial de nutrientes referente a 100% da recomendação, não apresentou resíduos suficientes para um segundo ciclo. Uma possível explicação para isso é que, no tratamento T3, as necessidades das plantas já foram plenamente supridas e o excesso de nutrientes nos tratamentos T1 e T2 foi perdido no perfil do solo através da lixiviação, deixando quantidades insuficientes para sustentar a produtividade do primeiro ciclo no segundo



Figura 2. Plantas do primeiro ciclo nos tratamentos com 100% da dose (T1), 80% da dose (T2) e 60% da dose (T3), e plantas do segundo ciclo sem adição de fertilizantes, após 70 dias após o transplântio (DAT) em ambos os ciclos.

Tabela 2. Médias da massa fresca da cabeça do repolho nos diferentes tratamentos e ciclos.

Repetição	Tratamentos (kg/parcela)			Média
	T1	T2	T3	
Primeiro ciclo	5,53 aA	5,72 aA	4,86 aA	5,37
Segundo ciclo	1,62 bB	1,36 bB	1,42 bB	1,47

Comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), letras maiúsculas comparam colunas e minúsculas comparam linhas.

ciclo. Este resultado ressalta a importância do manejo adequado dos nutrientes e o potencial desperdício quando não são utilizadas tecnologias adequadas de aplicação de fertilizantes ao solo.

Para a massa fresca da cabeça/planta, os valores médios encontrados no primeiro ciclo foram de 1,38 kg para o T1, 1,43 kg para o T2 e 1,22 kg para o T3. Esses valores estão dentro da faixa considerada ideal para a comercialização, segundo Aquino et al. (2005a), que é de 1,0 a 1,5 kg por cabeça. Já os valores médios encontrados para o segundo ciclo foram de 0,40 kg para o T1, 0,34 kg para o T2 e 0,36 kg para o T3. Todos esses valores estão abaixo da faixa ideal de comercialização (Aquino et al., 2005b; Moreira et al., 2011; Silva et al., 2011).

No Boletim 100 (van Raij et al., 1997) são disponibilizadas faixas de teores adequados de macro e micronutrientes nas hortaliças, que servem como referência para identificar problemas nutricionais e corrigi-los em tempo para a colheita. Recomenda-se que a amostragem das folhas seja realizada aos 2/3 do período do ciclo, especialmente para culturas de ciclo curto, como o repolho.

De acordo com as faixas de teores adequados para macronutrientes nas folhas de repolho (N: 30-50 g kg⁻¹, P: 4-8 g kg⁻¹, K: 30-50 g kg⁻¹, Ca: 15-30 g kg⁻¹, Mg: 4-7 g kg⁻¹ e S: 3-8 g kg⁻¹) descritas no Boletim 100 (Cantarella et al., 2022), os teores apresentados nas folhas de repolho no primeiro ciclo estão adequados para o nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio em todos os tratamentos, e para o potássio apenas no T2 (Tabela 3).

A concentração de enxofre nas folhas (Tabela 3) está acima do adequado no tratamento T3. Para os teores de potássio nos tratamentos T1 e T3, observa-se um déficit na quantidade desses nutrientes. Apesar das concentrações de macronutrientes nas folhas de repolho estarem abaixo da média (S, T3 – 0,06 g kg⁻¹; K, T1 – 1,36 e T3 – 0,84 g kg⁻¹), essa diferença foi insignificante e não afetou a produção da massa fresca da cabeça do repolho.

Quanto aos micronutrientes presentes nas folhas de repolho (Tabela 3), os valores recomendados para Boro (30-80 mg kg⁻¹), Cobre (8-20 mg kg⁻¹), Ferro (40-200 mg kg⁻¹), Manganês (35-200 mg kg⁻¹) e Zinco (30-200 mg kg⁻¹) indicaram deficiência de cobre na nutrição dos repolhos produzidos no tratamento T2. Em relação ao boro, ferro, manganês e zinco, os valores estão dentro do adequado.

Os resultados obtidos para macro e micronutrientes indicam que a liberação controlada de fertilizantes foi eficaz nos diferentes tratamentos. Isso confirma que o fertilizante testado nutriu as plantas durante todo o primeiro ciclo de cultivo. De maneira semelhante, Souza et al. (2023) encontraram resultados consistentes ao avaliar fertilizantes de liberação controlada em comparação com a técnica de fertirrigação na cultura de tomate grape.

Os resultados da análise foliar do segundo ciclo estão apresentados na Tabela 4. De acordo com as faixas de teores adequados para macronutrientes nas folhas, os teores apresentados nas folhas de repolho estão adequados para o enxofre em todos os tratamentos, nitrogênio em T1 e T3 e magnésio em T2 e T3.

Tabela 3. Composição mineral média de macronutrientes (g kg⁻¹) e de micronutrientes (mg kg⁻¹) das folhas de repolho dos tratamentos no primeiro ciclo.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
T1	36,00	4,80	28,64	18,79	4,94	7,49	63	8	112	91	44
T2	36,50	4,26	30,48	20,85	5,86	8,60	51	7	126	78	62
T3	35,50	4,55	29,16	23,34	5,68	9,06	45	5	92	68	37

Laboratório de Química do Solo, Centro de Ciências Agrárias – UFSCar.

Tabela 4. Composição mineral média de macronutrientes (g kg⁻¹) e de micronutrientes (mg kg⁻¹) das folhas de repolho dos tratamentos no segundo ciclo.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
T1	33,00	2,63	18,08	9,08	3,73	3,55	21	5	433	54	29
T2	27,50	2,86	17,87	10,26	4,63	5,45	3	6	449	52	31
T3	32,00	2,82	17,24	8,81	4,08	3,17	3	4	347	109	38

Laboratório de Química do Solo, Centro de Ciências Agrárias – UFSCar.

Quanto aos micronutrientes presentes nas folhas do repolho (Tabela 4), os valores indicaram deficiência de quase todos os micronutrientes na nutrição dos repolhos, com exceção do manganês nos três tratamentos e do zinco em T2 e T3. Observa-se uma queda significativa nas concentrações de todos os nutrientes, com exceção do nitrogênio e magnésio, o que corrobora os resultados de produção e sugere que os fertilizantes de liberação controlada não deixaram resíduos nutricionais após o primeiro ciclo da cultura.

A partir dos dados coletados pelas sondas TDR (Figura 3), foi possível acompanhar o teor de água no solo, corrigido com turnos de rega de dois dias para manter a capacidade de campo ($0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Durante o primeiro ciclo, foi utilizado em média um total de 51,98 L de água por planta, correspondente a aproximadamente

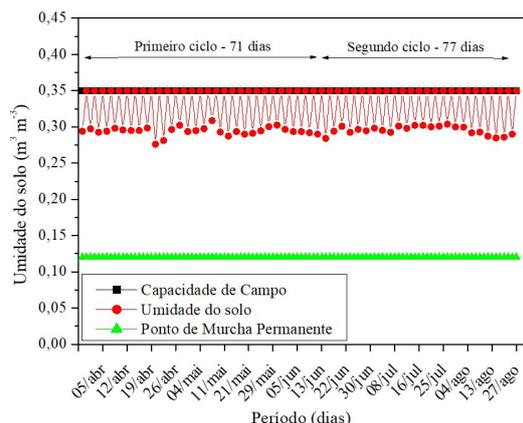


Figura 3. Monitoramento da umidade do solo durante o primeiro e segundo ciclo da cultura do repolho.

248 mm, valor bem abaixo dos 526 mm utilizados por Marouelli et al. (2010). No segundo ciclo, o consumo foi de 53,28 L de água por planta, equivalente a 254 mm. O manejo da irrigação desempenha um papel crucial na quebra do revestimento dos fertilizantes de liberação controlada. A água atua como solvente, interagindo com os fertilizantes para formar a solução nutricional no solo (Messa et al., 2023; Souza et al., 2023).

Segundo Silva et al. (2013), os valores de condutividade elétrica ao longo do desenvolvimento da cultura deveriam diminuir, o que reflete a necessidade de absorção de nutrientes pelas plantas. Entretanto, conforme observado na Figura 4, a condutividade elétrica se manteve constante durante todo o ciclo, com apenas uma pequena queda no final. Isso sugere que a oferta de nutrientes se manteve constante nos três tratamentos ao longo do período analisado. Além disso, os valores não representam um problema para o solo, pois, de acordo com Richards (1954), um solo é considerado salino quando sua condutividade elétrica está acima de 4 dS m^{-1} , o que poderia prejudicar o desenvolvimento da cultura.

Uma análise de comparação de médias entre os tratamentos revelou que a condutividade elétrica da solução do solo foi menor em T1 em comparação com T2 e T3. Em termos percentuais, T3 apresentou uma condutividade elétrica 1% maior que T1 e 12% menor que T2, enquanto T2 teve uma condutividade elétrica 14% maior que T1. Isso também foi observado nas linhas de comportamento dos dados (Figura 4A), mostrando uma maior concentração de sais no solo nas profundidades monitoradas em T2 em

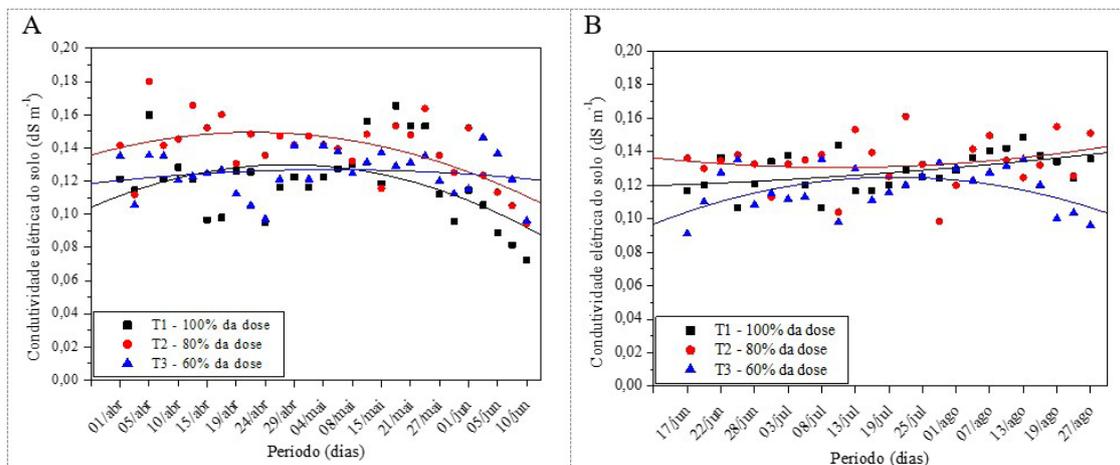


Figura 4. Monitoramento da condutividade elétrica do solo durante o primeiro (A) e segundo (B) ciclo da cultura do repolho. As linhas contínuas representam o comportamento dos dados ajustados por um polinômio de segundo grau.

comparação aos outros tratamentos durante o primeiro ciclo da cultura. Concorrendo com o observado nas regressões lineares, é importante destacar que foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos em termos de condutividade elétrica no solo, conforme indicado pelo p-valor de 0,000357. Isso sugere que o comportamento da liberação de nutrientes no tratamento T1 foi distinto dos tratamentos T2 e T3. Os tratamentos com redução na quantidade de nutrientes em relação à recomendação provavelmente sofreram menos impacto pelo transporte de nutrientes, que ocorre através do fluxo de massa para fora da zona radicular da cultura.

Para o segundo ciclo, as proporções se mantiveram, com T3 apresentando a menor concentração, sendo 11% menor que T2 e 6% menor que T1. Por sua vez, T1 teve uma concentração 3% menor que T2, que continuou com a maior quantidade de sais. Diferentemente ao observado no primeiro ciclo, não houve diferença significativa entre os valores de condutividade elétrica do solo para o segundo ciclo, com um p-valor de 0,026. As linhas de comportamento dos dados (Figura 4B) mostraram que T2 continuou com a maior concentração de íons no solo, no entanto, houve uma tendência de igualdade na concentração ao longo de todo o período monitorado, o que confirma diferença não significativa entre as médias de condutividade elétrica do solo.

Observa-se através do comportamento da condutividade elétrica do solo (Figura 4) que o fertilizante de liberação controlada foi eficaz no fornecimento de nutrientes no primeiro ciclo, resultando, conseqüentemente, nas maiores massas frescas das cabeças de repolho (Tabela 2). No entanto, no segundo ciclo, o padrão da condutividade elétrica do solo sugere que pode não estar ocorrendo liberação adequada de nutrientes para o solo, especialmente em T1 e T2 (linhas levemente curvas com formato convexo). Além disso, acredita-se que alguns nutrientes essenciais para o crescimento vegetativo possam estar em concentrações comprometidas no solo durante o segundo ciclo, o que pode explicar as baixas massas frescas das cabeças de repolho observadas nesse período (Fageria, 1998).

CONCLUSÃO

O uso do fertilizante de liberação controlada para a cultura do repolho foi vantajoso econômica e ambientalmente. Os três tratamentos utilizados não apresentaram diferença

estatística significativa em relação à massa fresca da cabeça do repolho. Isso sugere que a redução na dosagem de fertilizantes, especificamente para o tratamento com 60% da dose recomendada, proporcionou uma economia de 20% a 40% em comparação com as demais doses. Não foi observada liberação de nutrientes no segundo ciclo, o qual resultou em queda da produção do repolho.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, L.A., PUIATTI, M., LÉLIS, M.M., PEREIRA, P.R.G. & PEREIRA, F.H.F., 2009. Produção de biomassa, teor e exportação de macronutrientes em plantas de repolho em função de doses de nitrogênio e de espaçamentos. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 33, no. 5, pp. 1295-1300. <http://doi.org/10.1590/S1413-70542009000500014>.
- AQUINO, L.A., PUIATTI, M., PEREIRA, P.R.G., PEREIRA, F.H.F., CASTRO, M.R.S. & LADEIRA, I.R., 2005a. Características produtivas do repolho em função de espaçamentos e doses de nitrogênio. *Horticultura Brasileira*, vol. 23, no. 2, pp. 266-270. <http://doi.org/10.1590/S0102-05362005000200020>.
- AQUINO, L.A., PUIATTI, M., PEREIRA, P.R.G., PEREIRA, F.H.F., LADEIRA, I.R. & CASTRO, M.R.S., 2005b. Efeito de espaçamentos e doses de nitrogênio sobre as características qualitativas da produção do repolho. *Horticultura Brasileira*, vol. 23, no. 1, pp. 100-104. <http://doi.org/10.1590/S0102-05362005000100021>.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS – ANDA, 2023. *Anuário estatístico do setor de fertilizantes*. São Paulo.
- CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., MATTOS JÚNIOR, D., BOARETTO, R.M. & VAN RAIJ, B., 2022. *Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 489 p.
- CORREA, C.V., CARDOSO, A.I.I. & CLAUDIO, M.T.R., 2013. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 34, no. 5, pp. 2129-2138. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2129>.
- FAGERIA, N.K., 1998. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 2, no. 1, pp. 6-16. <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v02n01p6-16>.

- FILGUEIRA, F.A.R., 2008. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 421 p.
- FREITAS, T., 2017. *Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou controlada na cultura do cafeeiro: eficiência e custos*. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 97 p. Dissertação de Mestrado em Agronomia e Fitotecnia.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, 2017. *Censo agropecuário 2017*. Brasília.
- KUSTER, J.B., COSTA, A.F., GALEANO, E.A.V., COSTA, H., ROSSI, D.A., BÁRBARA, W.P.F., EGGER, V.A. & PIASSI, M., 2018. Análise de custos da produção de repolho em dois municípios do espírito santo, Brasil. *Revista Científica Intellecto*, vol. 3, pp. 51-58.
- MAROUELLI, W.A., ABDALLA, R.P., MADEIRA, N.R., OLIVEIRA, A.S. & SOUZA, R.F., 2010. Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 45, no. 4, pp. 369-375. <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000400004>.
- MESSA, L.L., FRANCA, D., MEDINA, A.F., FAEZ, R. & SOUZA, C.F., 2023. In-situ evaluation of chitosan-based materials containing fertilizer by time-domain reflectometry (TDR) technique. *Energy Nexus*, vol. 11, pp. 100216. <http://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100216>.
- MESSA, L.L., FROES, J.D., SOUZA, C.F. & FAEZ, R., 2016. Híbridos de quitosana-argila para encapsulamento e liberação sustentada do fertilizante nitrato de potássio. *Química Nova*, vol. 39, pp. 1215-1220. <http://doi.org/10.21577/0100-4042.20160133>.
- MOREIRA, M.A., VIDIGAL, S.M., SEDIYAMA, M.A.N. & SANTOS, M.R., 2011. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogênio. *Horticultura Brasileira*, vol. 29, no. 1, pp. 117-121. <http://doi.org/10.1590/S0102-05362011000100020>.
- R CORE TEAM, 2017 [acesso em 6 abril 2023]. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <http://www.R-project.org/>
- VAN RAIJ, B., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., 1997. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas/Fundação IAC. 285 p.
- RICHARDS, L.A., 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, D.C.: United States Salinity Laboratory, United States Department of Agriculture. 162 p. Agriculture Handbook, no. 60.
- SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., ARAUJO FILHO, J.C., OLIVEIRA, J.B. & CUNHA, T.J.F., 2018. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. Brasília: Embrapa. 356 p.
- SILVA, E.M., LIMA, C.J.G.S., DUARTE, S.N., BARBOSA, F.S. & MASCHIO, R., 2013. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características da berinjela cultivada em ambiente protegido. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 44, no. 1, pp. 150-158. <http://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100019>.
- SILVA, G.S., CECÍLIO FILHO, A.B., BARBOSA, J.C. & ALVES, A.U., 2011. Espaçamentos entre linhas e entre plantas no crescimento e na produção de repolho roxo. *Bragantia*, vol. 70, no. 3, pp. 538-543. <http://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300008>.
- SOUZA, C.F., SALA, F.C. & FAEZ, R., 2023. Polymer fertilizer and the fertigation of grape tomatoes in protected cultivation. *Scientia Horticulturae*, vol. 311, pp. 111801. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111801>.
- SPADOTTO, C.A. & GOMES, M.A.F., 2006 [acesso em 1 maio 2023]. *Perda de nutrientes*. Brasília: Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/residuos/perdas-de-nutrientes>