

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Uso de fertilizante de liberação controlada no cultivo de tomate em  
ambiente protegido**

**Vivyan Justi Conceição**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em  
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba  
2022**

**Vivyan Justi Conceição**  
**Engenheira Agrônoma**

**Uso de fertilizante de liberação controlada no cultivo de tomate em ambiente protegido**  
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:  
Profa. Dra. **SIMONE COSTA MELLO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em  
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba**  
**2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Conceição, Vivyan Justi

Uso de fertilizante de liberação controlada no cultivo de tomate em ambiente protegido / Vivyan Justi Conceição. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

42 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Fertilizante de eficiência aprimorada 2. Fertirrigação 3. *Solanum lycopersicum* L. I. Título

## **DEDICATÓRIA**

**Ao meu filho Vitor, dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPQ pela bolsa concedida.

À empresa Haifa pelo financiamento do meu projeto de doutorado.

Ao programa de Pós-graduação em Fitotecnia da ESALQ/USP.

Aos meus mentores que me guiaram para que eu chegasse até a conclusão dessa etapa tão importante para mim.

À minha família, primeiros professores dos aprendizados que necessitei.

Ao meu filho, todo meu amor! Ao Leandro Fidanza, minha gratidão!

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, minha gratidão, respeito e admiração e uma casa para sempre.

À minha orientadora Simone Costa Mello, pela amizade, pelo apoio, pela parceria e pelos ensinamentos.

A todos que, durante essa jornada, cheia de desafios, aprendizados e ensinamentos acreditaram em mim e que por algum momento ou situação compartilharam comigo, meu respeito e gratidão.

Às portas que se abriram, e também as que se fecharam e às oportunidades que obtive, obrigada por tanto aprendizado!

Aos colegas de pós-graduação e aos da graduação que me auxiliaram em algum momento, seja nas atividades de campo ou de alguma outra maneira: muito obrigada.

Obrigada Bruna Godinho, estudante de graduação, que me auxiliou como estagiária bolsista na execução do projeto.

Ao grupo GEPOL, obrigada pelo apoio.

À Deus, acima de todas as coisas.

## EPÍGRAFE

*Eu estou vestido com as roupas e as armas de Jorge. Para que meus inimigos tenham pés e não me alcancem. Para que meus inimigos tenham mãos e não me toquem. Para que meus inimigos tenham olhos e não me vejam. E nem mesmo um pensamento eles possam ter para me fazerem mal.*

*“Vi flores nascerem em lugares pedregosos e coisas gentis feitas por pessoas feias de rosto, e a taça de ouro ganha pelo pior cavalo nas corridas, e, assim sendo, eu também confio.”*

*John Masefield (1878-1967), poeta inglês.*

*Como é feliz o homem que acha a sabedoria, o homem que obtém entendimento, pois a sabedoria é mais proveitosa do que a prata e rende mais do que o ouro” Provérbios 3:13,14*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE TABELAS .....	10
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1. Cultivo do tomate.....	13
2.1. Exigência nutricional .....	14
2.2. Fertirrigação .....	15
2.3. Fertilizantes .....	16
2.4. Fertilizantes de Liberação Controlada (FLC) .....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1. Descrição da área experimental .....	21
3.2. Aspectos climáticos.....	21
3.3. Tratamentos e delineamento experimental .....	21
3.4. Implantação do experimento e condução da cultura.....	22
3.5. Controle de pragas e doenças .....	24
3.6. Variáveis analisadas.....	24
3.7. Análise estatística .....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4.1. Características climáticas .....	27
4.2. Produção .....	28
4.3. Características qualitativas.....	29
4.4. Teores de nutrientes foliares.....	30
4.5. Teores de nitrato na solução drenada .....	31
4.6. Teores de nitrato na solução drenada .....	31
4.7. Análise financeira .....	34
4.8. Conclusões .....	36
REFERÊNCIAS .....	36

## RESUMO

### Uso de fertilizante de liberação controlada no cultivo de tomate em ambiente protegido

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é a segunda maior hortaliça produzida no mundo, depois da batata. No entanto, nos últimos anos, as mudanças climáticas e o aumento dos fertilizantes têm afetado a cultura negativamente. É preciso buscar novas alternativas para que a demanda alimentar seja suprida, preconizando o desenvolvimento sustentável, com um adequado manejo nutricional das plantas, de forma a aumentar a eficiência dos fertilizantes e reduzir a perda de N para o meio ambiente. Dentro deste contexto o trabalho teve como objetivo avaliar O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em condições de ambiente protegido, composto por cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando vinte parcelas formadas por oito plantas cada, cultivadas individualmente em vasos de 8 L, com espaçamento de 0,6 m entre plantas, 0,9 m entre as linhas e 1,2 m entre as linhas duplas. Os tratamentos foram incorporados nos vasos contendo substrato, no dia do transplante, e consistiram nas seguintes doses do fertilizante de liberação controlada (FLC) (17-09-27): 3, 6, 9 e 12 g planta<sup>-1</sup>, além do controle (fertirrigação padrão para a cultura). Os vasos tratados com FLC receberam somente água até os 20 dias após o transplante (DAT), enquanto o controle, recebeu a fertirrigação desde o início. Foram realizadas análises relacionadas aos aspectos produtivos (número de frutos comercial, não comercial e total por planta, porcentagem de frutos em relação aos frutos, em função da classificação por tamanho, massa média dos frutos, produtividade comercial, não comercial e total por planta (kg) e por hectare), qualitativos (sólidos solúveis totais, acidez titulável total, relação SST/ATT, pH e ácido ascórbico), teores foliares de macro e micronutrientes, teores de nitrato e amônio da solução drenada e análise financeira. Os fatores relacionados a produção, qualidade e teor foliar de nutrientes foram mantidos, independente da utilização de fertilizantes de liberação controlada. As doses de fertilizante de liberação controlada influenciaram os teores de nitrato e amônio da solução drenada apresentaram variações, ao longo do tempo, seguindo o padrão de liberação sigmoidal dos FLC. A análise financeira revelou uma economia significativa no custo de fertilizantes utilizando FLC.

Palavras-chave: Fertilizante de eficiência aprimorada, Fertirrigação, *Solanum lycopersicum* L.



## ABSTRACT

### Controlled fertilizer release in tomato cultivation in a protected environment

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is the second largest vegetable produced in the world, after potatoes. However, in recent years, climate change and the increase in fertilizers have affected the crop negatively. It is necessary to seek new alternatives so that the food demand is met, advocating sustainable development, with an adequate nutritional management of plants, in order to increase the efficiency of fertilizers and reduce the loss of N to the environment. as objective to evaluate The experiment was carried out in a completely randomized design, under conditions of a protected environment, composed of five treatments and four replications, totaling twenty plots formed by eight plants each, cultivated individually in 8 L pots, with a spacing of 0.6 m between plants, 0.9 m between rows and 1.2 m between double rows. The treatments were incorporated into the pots containing the substrate, on the day of transplanting, and consisted of the following doses of controlled-release fertilizer (CRF) (17-09-27): 3, 6, 9 and 12 g plant<sup>-1</sup>, in addition to the control (standard fertigation for the crop). Pots treated with FLC received only water until 20 days after transplanting (DAT), while the control received fertigation from the beginning. Analyzes related to the productive aspects were carried out (number of commercial, non-commercial and total fruits per plant, percentage of fruits in relation to fruits, depending on the classification by size, average fruit mass, commercial, non-commercial and total productivity per plant ( kg) and per hectare), qualitative (total soluble solids, total titratable acidity, TSS/TTA ratio, pH and ascorbic acid), foliar contents of macro and micronutrients, nitrate and ammonium contents of the drained solution and financial analysis. Factors related to production, quality and foliar nutrient content were maintained, regardless of the use of controlled-release fertilizers. Controlled-release fertilizer doses influenced the levels of nitrate and ammonium in the drained solution, which varied over time, following the sigmoidal release pattern of CRF. Financial analysis revealed significant savings in fertilizer cost using CRF.

**Keywords:** Improved efficiency fertilizer, Fertigation, *Solanum lycopersicum* L.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. A) Distribuição das temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) (°C); B) Umidade relativa do ar (UR) (%) registradas durante o ciclo de cultivo do tomate de mesa tipo italiano cv. Grazianni, de 05 de fevereiro a 13 de julho de 2021 (158 dias após o transplante (DAT)). Piracicaba- SP, 2022. ....27
- Figura 2. A) Teor de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-drenado) e B) teor de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-drenado) da solução drenada pelos vasos em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada. Piracicaba- SP, 2022. .... 34

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Composição e quantidade de nutrientes proporcional da solução nutritiva utilizada na fase vegetativa (Solução 1), até 35 dias após o transplante (DAT), e reprodutiva (solução 2.(a)), entre 36 e 66 DAT e de 67 a 158 DAT (solução 2 (b)) (mg L<sup>-1</sup>) em plantas de tomate de mesa tipo italiano cv. Grazianni. Piracicaba-SP, 2022. .... 23
- Tabela 2. Quantidades consumidas de fertilizantes da solução 1 (fase vegetativa), proporcional para o controle e para os tratamentos, e da solução 2 (fase reprodutiva, incluídas as subfases da solução 2 (a) e 2 (b)), sendo a mesma quantidade para o controle e demais tratamentos, durante o ciclo de cultivo do tomate de mesa tipo italiano cv. Grazianni. Piracicabas, 2022. .... 23
- Tabela 3. Produtos utilizados no controle de pragas durante de 05 de fevereiro a 17 de julho de 2021 (162 dias após o transplante (DAT)) no tomate de mesa tipo italiano cv. Grazianni. Piracicaba-SP, 2022 ..... 24
- Tabela 4. Número de frutos comerciais (NFC), não comerciais (NFNC) e total (NFT) por planta, porcentagem de frutos classificados como pequeno (P) (50-65 mm), médio (M) (66-80 mm) e grande (G) (81-100 mm) em relação ao NFC e massa média dos frutos classificados como pequeno (MMP), médio (MMM) e grande (MMG) de tomateiro em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, avaliado entre 71 e 158 dias após o transplante (DAT). Piracicaba, 2022..... 28
- Tabela 5. Produtividade média comercial (PCP), não comercial (PNCP) e total (PTP), por planta (kg) e produtividade comercial (PC), não comercial (PNC) e total (PT), por hectare, de tomateiro em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, avaliado entre 71 e 158 dias após o transplante (DAT). Piracicaba, 2022. .... 28
- Tabela 6. Variáveis qualitativas de sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável total (ATT), relação SST/ATT, potencial hidrogeniônico (pH) e ácido ascórbico (AA) de tomateiro em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, avaliado aos 98 dias após o transplante (DAT). Piracicaba, 2022..... 29
- Tabela 7. Teores médios de macro e micronutrientes de folhas de tomateiro em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, avaliado aos 63 dias após o transplante (DAT). Piracicaba, 2022..... 30
- Tabela 8. Teor de nitrato da solução drenada pelos vasos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-drenado) em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada. Piracicaba, 2022. .... 31
- Tabela 9. Teor de amônio da solução drenada pelos vasos (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-drenado) em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada. Piracicaba, 2022. .... 33
- Tabela 10. Análise financeira dos custos totais com fertilizantes, usados nos tratamentos, com a adição do fertilizante de liberação Multicote Agri e no controle, utilizados na cultura do tomateiro. Piracicaba, 2022..... 35

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação mundial com a produção de alimentos tem se intensificado, nos últimos anos, com a instabilidade econômica, ocasionada pela pandemia, eventos climáticos atípicos e o conflito entre a Rússia e Ucrânia.

Com o avanço da pandemia, veio a crise econômica, com a perda do poder de compra pelo consumidor e consequente redução da área de cultivo pelo produtor, resultando na menor demanda global por insumos nitrogenados, em 2020 (EVANGELISTA *et al.*, 2021). No entanto, em setembro do mesmo ano, o Brasil registrou o maior consumo de fertilizantes sintéticos da sua história, contribuindo para o *record* de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente na atividade agropecuária do país (SEEG, 2021).

Embora tais fertilizantes sejam responsáveis por incrementos na agricultura, seu uso de forma inadequada pode resultar em problemas ambientais diversos. Os produtos nitrogenados, em especial, podem afetar: a atmosfera, quando liberam amônia e óxido de nitrogênio, além de aumentar a emissão de gases prejudiciais; o solo, promovendo processos de salinização e acidificação da terra, pelo acúmulo de nitratos no solo, podendo diminuir sua fertilidade através de processos de lixiviação; e a água, quando esses nutrientes, em excesso, dentre outros problemas, causam a eutrofização (BIJAY-SINGH; CRASWELL, 2021).

A necessidade de suprir uma demanda crescente de alimentos deve ser considerada tão importante quanto a necessidade de preservar o meio ambiente, uma vez que existe uma relação dependência, sendo necessário a busca de alternativas que, simultaneamente, garantam a segurança alimentar e minimizem os fatores geradores de impactos ambientais.

Dentre as hortaliças, o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) está entre as primeiras mais produzidas no mundo, sendo, também a mais consumida no Brasil e no mundo.

Segundo o IBGE, a produção brasileira de tomate estimada, em março de 2022, foi de 3,5 milhões de toneladas, indicando um declínio de 9,2% em relação à safra de 2021. A área plantada e a produtividade média da cultura também reduziram de 54.484 ha para 50.789 ha, e 71.609 kg ha<sup>-1</sup> para 69.483 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (IBGE, 2022).

A retomada no setor agrícola e da tomaticultura começa em setembro de 2020, com a redução de preço os insumos, no entanto, essa ascensão foi passageira, pois as condições climáticas desfavoráveis, como excesso de chuvas e temperaturas atípicas, aumentaram o preço do tomate para o consumidor final, resultando em uma queda na comercialização de aproximadamente 5.000 toneladas de 2020 para 2021 (CONAB, 2022).

No início de 2022, com o conflito entre a Rússia e Ucrânia, houve um aumento súbito dos fertilizantes e esgotamento de estoques, especialmente no Brasil, que depende da importação de insumos para manter sua produtividade, sendo 20% do total importando, proveniente da Rússia (GLOBALFERT, 2022).

Diante desse cenário, produtores de tomate, principalmente de frutos para consumo *in natura*, estão aderindo ao cultivo em ambiente protegido, após sucessivos prejuízos devido às variações climáticas intensas nos últimos anos, já que cultivos em campo aberto são mais suscetíveis ao desenvolvimento de doenças, que são favorecidas por climas quentes e úmidos.

Devido a relativa facilidade de manejar as condições ambientais adversas de cultivo quando comparado ao plantio em campo aberto, os sistemas em ambiente protegido, quando realizados em vasos preenchidos com substrato, apresentam vantagens como: a possibilidade de ter mais cultivo na mesma área (inviável em solo, quando há presença de patógenos), uma maior aeração para o sistema radicular, redução no tempo de cultivo e frutos mais homogêneos, entre outros (MIRANDA *et al.*, 2011)

Em geral, esse modelo é complementado com a técnica da fertirrigação, otimizando as operações de irrigação e fertilização, quando realizadas simultaneamente, além de propiciar um manejo eficiente dos nutrientes, com quantidades ajustadas as demandas da cultura e sem desperdício. Entretanto, é possível buscar a intensificação dessa eficiência associando ao sistema de cultivo a utilização de fertilizantes de liberação controlada (FLC), os quais podem aumentar a absorção nutrientes pelas plantas, por apresentarem uma liberação gradual dos nutrientes, pois precisam enfrentar uma espécie de barreira física para ficarem disponíveis, sendo um revestimento ou encapsulamento dos grânulos dos fertilizantes (ZHANG; SOLIHIN; SAITO, 2009).

Por apresentarem fatores como taxa de liberação, padrão e período de liberação possíveis de serem controlados, reduzem gastos com a mão de obra pelo fornecimento de nutrientes de maneira contínua, além de poderem reduzir as perdas por lixiviação e volatilização (no caso do nitrogênio) para o meio ambiente (KE *et al.*, 2017), além de diminuir possíveis danos ocasionados pela salinização do substrato, por conta do acúmulo de nutrientes, comum em sistemas de fertirrigação (DA SILVA, E. M. *et al.*, 2013).

Pesquisas anteriores em tomateiro, com fertilizantes de liberação controlada, não são conclusivas. Csizinszky, (1989) não obteve incrementos nos rendimentos comercializáveis em comparação com o controle com o uso de FLC, quando utilizado em tomaterio irrigado em sulco. Já Zhu; Zhang e Ma (2012) observaram incrementos no rendimento comercial de tomates utilizando ureia de liberação controlada em comparação com a ureia convencional, quando aplicados via foliar.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de fertilizante de liberação controlada no desempenho agrônômico do tomate de mesa tipo italiano cultivado em ambiente protegido.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Cultivo do tomate

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), anteriormente classificado como (*Lycopersicon esculentum* Mill.), tem seu centro de origem na América Central, na região andina, porém foi no México que se deu a sua ampla domesticação (WARNOCK, 1988), chegando ao Brasil no final do século XIX, por imigrantes (ALVARENGA, 2013).

Essa solanácea herbácea apresenta dois tipos de hábito de crescimento, o indeterminado e determinado. O indeterminado é característico de cultivares de tomate de mesa, para consumo *in natura*, sendo necessário o tutoramento das plantas. O determinado é característico de cultivares de tomate para indústria (FIGUEIRA, 2013). As cultivares de tomate destinadas ao consumo *in natura* são divididas nos seguintes grupos: oblongo (tipo Débora ou Santa Cruz), achatado (tipo Carmen), mini (cereja e grapes), caqui e comprido (tipo Italiano ou Andréa) (CEAGESP, 2020).

Os fatores de produção que mais afetam o desenvolvimento do tomateiro e a qualidade de seu fruto são os fatores climático e nutricional (SAMPAIO; FONTES, 1998), com efeitos variáveis em função do cultivar e das fases de desenvolvimento da planta.

Existem diferentes faixas ótimas de temperatura, em função dos estádios de crescimento e desenvolvimento do tomateiro, sendo 15 a 25°C para germinação; 20 a 25 °C para a formação das mudas; 18 a 24°C durante o florescimento; 19 a 24°C (dia) e 14 a 17°C (noite) para o pegamento de frutos e 20 a 24°C para a maturação (ALVARENGA, 2013).

A faixa de temperatura tolerável pelo tomateiro, durante o desenvolvimento vegetativo, está compreendida entre 10°C e 34°C, havendo maior ocorrência de abortamento de flores e de frutos em temperaturas extremas. Temperaturas muito baixas (< 10°C) reduzem o desenvolvimento da planta, produzem hastes mais grossas e quebradiças, com menos folhas, porém de maior tamanho e coloração verde intensa. Já temperaturas mais elevadas (> 34°C) resultarão em plantas com hastes mais finas e longas, com maior número de folhas, porém com menor tamanho e de coloração verde-amareladas, além de gerar maturação irregular, frutos defeituosos e mais amarelados (acima de 28°C cessa a produção de licopeno) (ALVARENGA, 2013).

A umidade relativa do ar ideal para a cultura situa-se entre 50% e 70%. A associação da umidade alta com temperaturas, também altas, favorece o desenvolvimento de doenças, principalmente fúngicas (BRANDÃO FILHO *et al.*, 2018). Já a associação com umidade inferior a 50% pode ser prejudicial a absorção de água e nutrientes pela planta, devido ao fechamento estomático e consequente redução da taxa transpiratória. A umidade baixa também ocasiona desidratação dos tecidos, menor desenvolvimento vegetativo e queda de flores (ALVARENGA, 2013).

Seu cultivo pode ser realizado em campo aberto ou ambiente protegido, porém em sistema de campo há maior incidência de pragas e doenças, elevando o custo de produção, variando de acordo com o cultivar e os efeitos edafoclimáticos que podem ocorrer durante seu ciclo (ALVARENGA, 2013).

Dentre os vários sistemas que podem ser desenvolvidos em ambiente protegido, o cultivo de tomate em vasos preenchidos com substrato, voltou a ser divulgado pela Embrapa, em 2022, em forma de curso, embora ela tenha desenvolvido um trabalho extenso, em 2011 (MIRANDA *et al.*, 2011). São abordadas vantagens como: a possibilidade de ter mais de cultivo na mesma área, o que não é possível em solo, quando há presença de patógenos; um maior equilíbrio no fornecimento de água e aeração para o sistema radicular; menor tempo para iniciar o ciclo

produtivo, precocidade na colheita, maior longividade da planta, frutos mais homogêneos, entre outros (MIRANDA *et al.*, 2011).

Nesse sistema de cultivo, cada planta recebe uma solução nutritiva adequada para as suas diferentes fases fenológicas, para constituir um manejo eficiente dos nutrientes, com quantidades ajustadas as demandas da cultura e sem desperdício, sendo uma solução alternativa para o problema relacionado ao fator nutricional, a qual já teve pesquisas comprovando seu benefício.

## 2.1. Exigência nutricional

O tomateiro, assim como as hortaliças em geral, tem uma alta extração de nutrientes em um ciclo menor, quando comparado a grandes culturas. espécie muito exigente em adubação. O equilíbrio no fornecimento de nutrientes é fundamental, para que não ocorram deficiências, nem fitotoxidez. Para isso é preciso conhecer o cultivar, as fases da cultura e as necessidades nutricionais delas.

Um dos primeiros trabalhos sobre marcha de absorção de nutrientes pelo tomateiro, no Brasil, conduzido em ambiente protegido, conclui que o macronutriente mais extraído foi o K, seguido pelo N, Ca, S, P e Mg (GARGANTINI; BLANCO, 1963).

Nos primeiros 40 dias após o transplante, o acúmulo de massa seca no tomateiro é relativamente pequeno, sendo verificado um grande acúmulo entre 40 e 90 DAT, sendo a taxa de absorção de nutrientes diretamente proporcional, aumentando com o surgimento das flores e atingindo o máximo entre o pegamento e crescimento dos frutos, que na fase de maturação, apresentam menor taxa de absorção (ALVARENGA, 2013).

O potássio, um dos nutrientes mais extraídos pelo tomateiro, promove crescimento vegetativo da planta, desempenha importante função osmótica e como ativador enzimático, atua na síntese e armazenamento de proteínas e carboidratos e ajuda a promover a resistência a pragas e doenças células (MARSCHNER, 2011). Esse nutriente também é responsável pelo aumento na produtividade e qualidade de frutos tomates, pois está associado a processo de síntese e translocação de carboidratos nos mesmos. No ententanto, em excesso, opotássio pode interferir na absorção de cálcio e magnésio pela planta (REBOUÇAS NETO *et al.*, 2016).

O nitrogênio, segundo nutriente mais absorvido em tomateiro, este presente em diferentes compostos das plantas, como aminoácidos, ácido nucleico, enzimas e clorofila. Ele promove o crescimento e desenvolvimento de plantas atuando no desenvolvimento das raízes, na síntese de proteínas e de ácidos nucléicos e na formação de gemas floríferas e frutíferas, além de atuar como cofator enzimático em diversos processos (MARSCHNER, 2011). Ele também está diretamente associado aos seguintes aspectos qualitativos do tomate: teor de sólidos solúveis, acidez titulável e teor de ácido ascórbico (KOONER; RANDHAWA, 1990).

O fósforo é cofator enzimático de vários processos nas plantas, além de constituir compostos fosforados, como ADP e ATP, participando da fotossíntese, do metabolismo de açúcares, do armazenamento e transferência de energia, da divisão e expansão celular, entre outros (MARSCHNER, 2011). A sua absorção pode variar conforme o pH do solo, ficando menos disponível quando o pH é mais ácido.

O enxofre, mais extraído que o fósforo em tomate, constituiu proteínas e participa na cadeia de transporte de elétrons da respiração. Já o magnésio, como nitrogênio, constituiu a molécula de clorofila, sendo necessário em várias reações enzimáticas (MALAVOLTA, 2006).

O cálcio tem importante papel estrutural, integrando a parede celular, sendo responsável pelo aumento da firmeza dos frutos. Sua deficiência é responsável pelo distúrbio fisiológico denominado podridão apical, que ocasiona a perda de turgor celular na parte apical do fruto (HAHN *et al.*, 2017).

O boro é um micronutriente de função estrutural, assim como o macronutriente cálcio, constitui a parede celular. O zinco atua como ativador enzimático, na síntese do aminoácido triptofano, de lipídios e de proteínas, além de atuar no metabolismo das auxinas e na integridade das membranas. O micronutriente ferro atua na formação de clorofila, na fixação do N<sub>2</sub> e na síntese de proteínas, na síntese de coenzimas e da clorofila e na cadeia transportadora de elétrons, além da formação de enzimas (MALAVOLTA, 2006). Sua absorção pode ser afetada pelo manganês, micronutriente que atua na síntese de clorofila.

## 2.2. Fertirrigação

A fertirrigação, por definição, é a prática de fornecer nutrientes (fertilizantes) as culturas, através da água de irrigação (BAR-YOSEF, 1991). Essa técnica aumenta a eficiência do manejo nutricional, pois permite diminuir a quantidade de fertilizante aplicada e conseqüentemente, os custos, além maximizar a produtividade e minimizar a poluição ambiental (HAGIN; LOWENGART, 1996).

Esse manejo consiste na evolução da irrigação localizada, que não só dinamiza o processo produtivo pela aplicação conjunta de fertilizante com o fornecimento de água, mas também melhora a dinâmica radicular da planta (VIEIRA FILHO *et al.*, 2017).

Ambientalmente, a técnica otimiza o aproveitamento de água, ao mesmo tempo que eleva a disponibilidade de nutrientes, resultando na redução de perdas de nutrientes para o ambiente, através de processos como lixiviação e volatilização (DE SOUZA *et al.*, 2014).

O controle de variáveis, na fertirrigação, como momento da aplicação, quantidade e a concentração dos fertilizantes são de grande importância na cultura do tomateiro. Além do fornecimento adequado de nutrientes a cada estágio do seu desenvolvimento, a distribuição homogênea desses para as plantas também resultam em maior produtividade final.

No entanto, um manejo inadequado pode resultar efeitos negativos para o cultivo. Um dos problemas que pode acontecer na fertirrigação é o entupimento do sistema de gotejamento, sendo atribuído, principalmente, ao uso de fertilizantes incompatíveis com a técnica, com solubilidade baixa, por exemplo. Outro problema está relacionado com a salinidade, que ocorre pela concentração dos sais em superfície em função do fornecimento constante de nutrientes não absorvidos adequadamente, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (SCHOSSLER *et al.*, 2012).

Para um manejo adequado na nutrição de plantas, nesse sistema, é importante ter conhecimento sobre alguns fatores, tais como: composição, solubilidade e níveis de nutrientes, além da fisiologia da cultura e suas necessidades nutricionais (TRANI *et al.*, 2015).



## 2.3. Fertilizantes

Segundo a legislação, em seu Decreto 4.954/2004, fertilizante é definido como “substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas”, enquanto nutriente elemento essencial ou benéfico para o crescimento e produção dos vegetais (BRASIL, 2004).

O fertilizante mineral (inorgânico) sintético (químico) é aquele fabricado por processos químicos para fornecer nutrientes para as plantas. Dentre os nutrientes que o compõe, o nitrogênio, o fósforo e o potássio, também denominados macronutrientes primários, são os mais demandados nos cultivos, podendo ser divididos em quatro classes: fertilizantes nitrogenados, fertilizantes fosfatados, fertilizantes potássicos e fertilizantes NPK (OLIVEIRA; MALAGOLLI; CELLA, 2019).

### 2.3.1. Fertilizantes e o meio ambiente

Em 2020, o setor da agricultura registrou o maior consumo de fertilizantes sintéticos (químicos) na história do Brasil e a maior emissão de CO<sub>2</sub>-equivalente na agricultura e pecuária (577 milhões de toneladas), representando 27% das emissões brutas de gases de efeito estufa (GEE) do país (SEEG, 2021).

O aumento dos GEE é o responsável pelas mudanças climáticas, que afetam diretamente os cultivos agrícolas. Nos últimos anos as condições adversas, relacionadas ao clima, foram uma das principais responsáveis pelas perdas na agricultura.

O excesso de fertilizantes sintéticos solúveis, quando não é absorvido pelas plantas, acaba sendo depositado no meio ambiente, causando mudanças climáticas e outros problemas ambientais, como: empobrecimento do solo, salinização e acidificação dos solos, poluição atmosférica e hídrica, eutrofização, entre outros (TEI *et al.*, 2020).

Os fertilizantes nitrogenados são os mais utilizados, mundialmente, no entanto, em função do ciclo do N, sofrem diferentes transformações, tendo um grande potencial de perdas, variando entre 40 a 70% (DUHAN *et al.*, 2017).

As perdas desses fertilizantes ocorrem, principalmente, por: lixiviação do de nitrato (NO<sub>3</sub>); volatilização da amônia (NH<sub>3</sub>) e desnitrificação, com perda de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (MALAVOLTA, 2006). Tanto a amônia, como o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), liberado dos solos pela nitrificação e desnitrificação, ocasionam danos à camada de ozônio (ZHOU *et al.*, 2017).

A desnitrificação consiste na redução do nitrato (NO<sub>3</sub>) para a formação de nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (MALAVOLTA, 2006). Já a nitrificação, consiste na oxidação da amônia (NH<sub>3</sub>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), realizada por microrganismos autotróficos, formando nitrito (NO<sub>2</sub>) e nitrato (NO<sub>3</sub>) (VIEIRA FILHO *et al.*, 2017).

A amônia (NH<sub>3</sub>) proveniente de fertilizantes aplicados ou da mineralização da matéria orgânica, pode ser convertida em amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e absorvida pelas plantas, contudo, a amônia é uma substância volátil e pode ser perdida facilmente para a atmosfera (ROCHETTE *et al.*, 2009). A volatilização da amônia é influenciada por fatores como: tipo e preparo do solo, forma de aplicação e a constituição do fertilizante.

Fertilizantes constituídos de ureia são os mais usados, por sua maior concentração do mineral e menor custo em relação aos demais insumos. Entretanto, ela é facilmente perdida por sua alta solubilidade e instabilidade térmica e baixo peso molecular.

Para minimizar perdas, utilizam-se técnicas como a incorporação desses fertilizantes e parcelamento da adubação nitrogenada (MALAVOLTA, 2006). Outras técnicas relacionadas ao fertilizante podem ser utilizadas, como o revestimento dos grânulos do fertilizante, liberando os nutrientes de forma mais lenta e por mais tempo.

Em estudo realizado em tomateiro, foram observados maiores teores de  $\text{NO}_3^-$ , em todas as datas avaliadas (65 DAT, 93 DAT e 143 DAT) em relação ao controle, com a utilização des ureia de liberação controlada, com a aplicação via foliar (ZHU; ZHANG; MA, 2012).

Fertilizantes de liberação controlada com diferentes taxas de liberação (25, 50 e 75%) foram avaliados em pimenta, sendo observado maiores teores de  $\text{NH}_4^+$  na primeira avaliação, variando entre 9,8 e 21,5  $\text{mg L}^{-1}$ , com valor médio de 15,9  $\text{mg L}^{-1}$  (CSIZINSZKY, 1994).

### 2.3.2. Fertilizantes e economia

No Brasil, os aumentos no custo dos fertilizantes, em mais de 200 %, nos últimos dois anos, causam grande impacto econômico, tornam-se o centro das discussões políticas.

A escassez desse insumo no mercado, que apresenta mais de 40% do custo total de produção das culturas mais importantes, é preocupante, pois a dependência brasileira de fertilizantes importados ultrapassou 85% do consumo total de fertilizantes utilizados na agricultura, em 2021, sendo 42% de K; 35% de N e 23% de P (EVANGELISTA *et al.*, 2021)

As causas desse cenário estão na falta de matéria-prima, que por sua vez está inserida em uma sequência de fatos ocorridos entre 2019 e 2022.

Em dezembro de 2019, iniciou-se na China a Covid-19, que rapidamente se alastrou pelo mundo todo, fazendo com que muitos países decretassem lockdown, o que dificultou a logística, a entrega, a exportação e a importação dos fertilizantes. Além disso, o recebimento de matérias-primas para a produção dos insumos agrícolas também foi afetado, e a falta de mão de obra no primeiro semestre de 2020 impactou no consumo de fertilizantes. Devido a esses fatores, instalou-se e uma crise econômica, fazendo com que a demanda global por nitrogenados diminuísse em 2020 ((EVANGELISTA *et al.*, 2021).

A retomada no setor agrícola começa em setembro de 2020, com a redução de preço dos insumos. No entanto, essa ascensão foi passageira, pois as condições climáticas desfavoráveis, como excesso de chuvas e temperaturas atípicas, aumentaram o preço dos alimentos para o consumidor final, resultando em uma queda na comercialização.

Em 2021, as consequências das condições climáticas foram sentidas, principalmente na produção de energia renováveis. Isso resultou no aumento dos fertilizantes como consequência do aumento no gás natural, uma vez que a demanda passou a ser maior que a oferta (GLOBALFERT, 2022). Esse cenário levou a imposição de restrições ao comércio de insumos, por alguns países, como China e Turquia, para que fosse preservado seu abastecimento interno.

No final de 2021, a Rússia também restringiu as exportações e em 2022, o mesmo país protagonizou um conflito com a Ucrânia, que ocasionou novo aumento dos fertilizantes e esvaziamento dos estoques. O Brasil foi diretamente afetado, pois 20% dos fertilizantes importados são originários da Rússia (GLOBALFERT, 2022).

Diante dos atuais acontecimentos, os custos de produção elevaram, sendo necessária a busca de alternativas de menor valor.

## 2.4. Fertilizantes de Liberação Controlada (FLC)

Os fertilizantes de liberação controlada pertencem a classe dos fertilizantes de eficiência aprimorada (FEA), os quais melhoraram a eficiência agrônômica da adubação, tendo como principal objetivo a redução de perdas dos nutrientes.

Alguns pesquisadores entendem que fertilizantes de liberação lenta (FLL) e fertilizantes de liberação controlada (FLC) são usados como sinônimos, no entanto, Trenkel (2010) os diferencia em função do seu processo de fabricação, sendo os primeiros, resultado de da condensação de ureia-aldeídos, e os últimos, fertilizantes revestidos ou encapsulados.

Assim, entende-se que os FLC são aqueles capazes de prolongar a disponibilidade de nutrientes no tempo, ajustando-se a demanda da planta através de uma barreira física, que consiste num recobrimento ou encapsulamento (TRENKEL, 2010).

Esse revestimento ou encapsulamento dos FLC é utilizado para controlar a penetração de água, a taxa de dissolução do fertilizante e a duração do tempo de liberação dos nutrientes (LIU *et al.*, 2014). Esse controle é possível pela manipulação de algumas variáveis controladas durante o processo de fabricação, tais como: natureza e espessura do material de revestimento, por exemplo (TRENKEL, 2013).

O material utilizado no recobrimento é bastante variável, sendo formado por compostos naturais ou sintéticos. No entanto, os compostos sintéticos são os predominantes no mercado, pois apresentam maior resistência e controle da liberação dos nutrientes. (NAZ; SULAIMAN, 2016; TIMILSENA *et al.*, 2015). São citados na literatura FLC comerciais compostos por polietileno (Meister® e Nutricote®), resina alquídica (Osmocote®) e poliuretano (Multicote®, Plantacote®) (TRENKEL, 2010).

A taxa de liberação dos nutrientes é conhecida pela interação dos fatores: revestimento (material utilizado, porosidade e espessura) e temperatura associada a umidade do substrato utilizado no cultivo. Essa liberação ocorre por difusão do material utilizado para o recobrimento do fertilizante, com a entrada de água, na forma de vapor e se condensa dentro do grânulo, resultando na dissolução parcial do mesmo (NAZ; SULAIMAN, 2016). Além desses fatores, a concentração dos nutrientes e proporção de recobrimento também interferem na taxa de liberação.

O padrão de liberação observado para esses fertilizantes pode ser parabólico, linear ou sigmoidal. O modelo sigmoidal é preferido pois se assemelha ao sincronismo entre demanda e oferta de nutrientes exigidos pelas plantas (SHAVIV; RABAN; ZAIDEL, 2003).

De acordo com o Comitê Europeu de Normatização (CEN), os fertilizantes de liberação controlada devem atender alguns critérios relacionados a liberação (na temperatura de 25 °C): liberar menos de 15 % do N total em 24 horas; liberar menos que 75 % do N total em 28 dias e liberar pelo menos 75 % do N total no prazo fixado pelo fabricante (TRENKEL, 2010).

Csizinszky, (1989) realizou um experimento em tomateiro irrigado por sulco utilizando diferentes materiais de recobrimento e concentrações de N ureia revestida com resina (29:0:0), metileno ureia (4:0:0); e dois polímeros associados com enxofre (37:0:0): com 17,9% e 21, 8% de taxa de dissolução de N, em 7 dias. Segundo o autor, não foram obtidos incrementos nos rendimentos comercializáveis em comparação com o controle com o uso de FLC.

Outro experimento realizado em tomateiro utilizando FLC recoberto com resina termoplástica, contendo 39% de nitrogênio e 120 dias de longividade, aplicado via foliar, foram obtidos incrementos no rendimento comercial em relação a aplicação de ureia convencional (ZHU; ZHANG; MA, 2012).

A utilização do FLC no manejo cultural é uma ferramenta tida com inovadora para os produtores. Ao conhecer os benefícios que a utilização desse tipo de insumo pode propiciar, o produtor pode vir a adotar em um intervalo pré-determinado do desenvolvimento da cultura, já que sua utilização durante uma fase do ciclo, não acarreta em problemas ou depleção de qualidade tampouco de produtividade.

Para além dos fatores de produtividade, o produtor pode obter, adotando essa tecnologia uma vantagem econômica, porém, até que ele entenda tal tecnologia como vantagem é necessário que o FLC passe pela curva de adoção tecnológica.

Um modelo de adoção de tecnologias foi proposto por Geoffrey A. Moore e, mostra um modelo que dissecar e representa as etapas de adoção de novos produtos. A vida do modelo passa por cinco estágios com base nas características psicográficas dos clientes em cada estágio: inovadores, adotantes iniciais, maioria inicial, maioria tardia e retardatário. Sendo assim, é esperado que a penetração desse insumo leve certo tempo para ser introduzido, de fato, no mercado.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP), em Piracicaba-SP (22°42'30"S e 47°38'00"O, com 546 m de altitude), em ambiente de cultivo protegido, localizado no Departamento de Produção Vegetal.

A casa de vegetação utilizada, do tipo arco, é recoberta por filme difusor antiestático, de 150 µm de espessura, e suas laterais são protegidas com tela antiáfidos. Ela apresenta 4 m de pé direito, 27 m de comprimento e 6,4 m de largura, ocupando uma área total de 172,8 m<sup>2</sup>, incluindo-se a antecâmara. A estrutura é equipada com um sistema de resfriamento evaporativo adiabático, do tipo Pad-Fan.

#### 3.2. Aspectos climáticos

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima na região, que se encontra em transição, está saindo de Cfa (subtropical úmido, com ausência de estação seca e com verão quente) e entrando em Aw (tropical, com estação seca), devido à elevação das temperaturas. Os valores médios registrados, de fevereiro a julho, referentes a variável temperatura média (T° Média), foram: 24,2; 24,4; 21,2; 19,2; 18,0 e 16,4° C. No mesmo período, as seguintes médias foram apresentadas, para as temperaturas mínima (T° Mín) e máxima (T° Máx), respectivamente: 19,0; 19,2; 15,1; 12,4; 11,5 e 7,8° C; e 31,0; 31,5; 28,3; 27,2; 25,5 e 26,2° C. A umidade relativa do ar (UR), média, nos meses em que o experimento foi desenvolvido, apresentou os seguintes valores: 77,4; 77,6; 72,9; 71,9; 75,8 e 61,0%.

Os dados referentes as características climáticas supracitadas, juntamente com a precipitação pluvial, foram medidas diariamente, a cada 15 minutos, pela estação meteorológica automática (Datalogger Campbell Scientific®, modelo CR1000) pertencente a área experimental, entre 05 de fevereiro e 13 de julho de 2021 (equivalente a um ciclo finalizado aos 158 dias após o transplante (DAT) do tomateiro).

#### 3.3. Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e cinco tratamentos, totalizando vinte parcelas experimentais ocupadas por 160 plantas, sendo cada parcela composta por oito plantas, dispostas em linha dupla (com quatro plantas por linha).

Os cinco tratamentos foram compostos pelas doses 3, 6, 9 e 12 g planta<sup>-1</sup> (correspondendo, respectivamente a: 375, 750, 1.125 e 1.500 mg L<sup>-1</sup>) de fertilizante de liberação controlada (FLC), além do controle (conforme a recomendação padrão para a cultura).

O fertilizante de liberação controlada (FLC) comercial utilizado foi o Multicote™ Agri® (Haifa), com recobrimento dos grânulos de nitrogênio, fósforo e potássio, na proporção 17-09-27 (sendo o N, P e K derivados de nitrato de amônio, fosfato monomaniaco, nitrato de potássio e sulfato de potássio), com polímero poliuretano (90-50-100% revestido), sendo 90% entre 2-4 mm.com liberação para 4 meses, na temperatura do solo de 21°C. O N, P, K presentes na formulação são derivados de: 7,40% de nitrogênio de nitrato (N-NO<sub>3</sub>); 1,90% de nitrogênio

amoniacoal (N-NH<sub>4</sub>); 7,70% de nitrogênio de nitrato (N-NH<sub>2</sub>); 9,00% de pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) solúvel em água e solução neutra de citrato de amônio; 8,30% pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) solúvel em água e 2,70% de potássio solúvel (K<sub>2</sub>O).

Os tratamentos foram aplicados antes do transplante das mudas, sendo o produto incorporado no vaso contendo substrato, manualmente, e receberam apenas água nos primeiros 20 dias após o transplante (DAT).

### 3.4. Implantação do experimento e condução da cultura

O cultivar de tomate de mesa, tipo italiano, utilizado foi o Grazianni (Sakata®). Esse material genético tem alto nível de resistência à *Verticillium dahliae* raça 1, *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* raças 1, 2 e 3 e ao vírus do mosaico do tomateiro (ToMV) estirpe Tm1. Para o vírus do vira-cabeça do tomateiro (TSWV) e o Germinivírus (ToSRV), ele tem um nível moderado de resistência.

As mudas de tomate, semeadas em bandejas de 128 células, preenchidas com substrato à base de turfa de *Sphagnum* e vermiculita, foram adquiridas do viveiro IBS mudas (Piracicaba-SP), aos 30 dias após a semeadura (DAS), apresentando 4 folhas verdadeiras.

No dia 05 de fevereiro de 2021, foi realizado o transplante das mudas para vasos de 8 litros, preenchidos previamente com substrato de turfa de *Sphagnum* e casca de madeira, sendo adicionado o respectivo tratamento na ocasião. Posteriormente, os vasos foram dispostos na casa de vegetação com espaçamento de 0,6 m entre plantas, 0,9 m entre as linhas e 1,2 m entre as linhas duplas (aproximadamente 15.900 plantas ha<sup>-1</sup>).

As plantas foram conduzidas com duas hastes, sendo a segunda haste desenvolvida a partir do broto emitido logo abaixo do primeiro cacho floral. As operações de podas de brotos laterais foram realizadas quando necessárias e teve por objetivo deixar apenas uma haste principal.

O tutoramento vertical das plantas foi feito com o auxílio de fitilho, sendo enrolado nas plantas à medida que elas cresciam.

Quando apresentavam cerca de 12 cachos florais, foi realizada a poda da gema apical, para cessar o crescimento do tomateiro de hábito indeterminado.

Aos 44 dias após o transplante (DAT) foi realizado o primeiro desbaste de frutos, repetindo-se em intervalos quinzenais, sendo as pencas mantidas com cinco frutos, visando atingir o calibre comercial deles.

Após a primeira colheita, foram realizados procedimentos de desfolha, retirando-se as folhas imediatamente abaixo do cacho floral, para aumentar a disponibilidade de luz e espaçamento entre as plantas, além de evitar o acúmulo de patógenos.

#### 3.4.1. Manejo nutricional e da irrigação

O fornecimento de água e nutrientes (via fertirrigação), dividido de acordo com as fases de desenvolvimento da cultura (vegetativo e reprodutivo), foi realizado utilizando-se, em cada vaso, 2 gotejadores autocompensantes, com vazão de 2 L hora<sup>-1</sup>, resultando na vazão total de 4 L hora<sup>-1</sup>, por vaso.

As soluções nutritivas, em função das exigências nutricionais da cultura, foram divididas em três, sendo uma fornecida no desenvolvimento vegetativo e duas no desenvolvimento reprodutivo.

Na fase vegetativa, que correspondeu à data do transplante ao início da maturação do primeiro cacho (0- até 34 DAT), foi aplicada a solução 1; e na fase reprodutiva, que compreendeu o início da maturação do 1º cacho até o final do ciclo; foi aplicada a solução 2 (a), entre 35 e 64 DAT e 2 (b), de 65 a 162 DAT, com aumento de nitrato de cálcio, sendo um ajuste necessário para a cultura, para evitar a deficiência de  $Ca^{2+}$ . Essas soluções foram compostas conforme a descrição na Tabela 1.

Tabela 1. Composição e quantidade de nutrientes proporcional da solução nutritiva utilizada na fase vegetativa (Solução 1), até 35 dias após o transplante (DAT), e reprodutiva (solução 2.(a)), entre 36 e 66 DAT e de 67 a 158 DAT (solução 2 (b)) ( $mg L^{-1}$ ) em plantas de tomate de mesa tipo italiano cv. Grazianni. Piracicaba-SP, 2022.

Fertilizantes	Solução 1	Solução 2 (a)	Solução 2 (b)
	$mg L^{-1}$		
Nitrato de cálcio	600	750	856
Sulfato de potássio	350	660	660
Sulfato de magnésio	350	450	450
Fosfato monopotássico (MKP)	210	146	146
Poly-feed 19-19-19	140	110	110

Nutrientes	Solução 1	Solução 2 (a)	Solução 2 (b)
	$mg L^{-1}$		
N	119,6	137,2	153,6
P	59,3	42,3	42,3
K	230,4	338,5	338,5
Ca	113,4	141,8	161,8
Mg	34,8	44,3	44,3
S	108,9	177,2	177,2

Até 20 DAT, os vasos com doses de fertilizante de liberação controlada receberam apenas água de irrigação. Sendo assim, as quantidades dos fertilizantes referentes ao controle e aos demais tratamentos consumidos durante o ciclo produtivo do tomateiro, calculadas em função do consumo total das soluções nutritivas, para as fases vegetativa e reprodutiva, foram distintas e estão na Tabela 2. O consumo dos fertilizantes nas soluções 2 (a) e 2 (b), na fase reprodutiva, também estão na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidades consumidas de fertilizantes da solução 1 (fase vegetativa), proporcional para o controle e para os tratamentos, e da solução 2 (fase reprodutiva, incluídas as subfases da solução 2 (a) e 2 (b)), sendo a mesma quantidade para o controle e demais tratamentos, durante o ciclo de cultivo do tomate de mesa tipo italiano cv. Grazianni. Piracicabas, 2022.

Fertilizantes	Consumo Solução 1 ( $kg 1000 plantas^{-1}$ )		Consumo Solução 2 ( $kg 1000 plantas^{-1}$ )		
	Controle	Tratamentos	Solução 2 (a)	Solução 2 (b)	Solução 2 total
Nitrato de cálcio	17,325	7,350	89,49	316,6	406,11
Sulfato de potássio	10,106	4,288	78,75	244,1	322,88
Sulfato de magnésio	10,106	4,288	53,69	166,4	220,14
Fosfato monopotássico (MKP)	6,064	2,573	17,42	54,0	71,42
Poly-feed 19-19-19	4,043	1,715	13,13	40,7	53,81

Em relação a irrigação, durante a fase vegetativa, foram realizadas quatro irrigações por dia (08:00h, 10:00h, 14:00h e 18:00), com duração variável de acordo com o estágio de desenvolvimento das plantas (entre 4 e 6 minutos). Já na fase reprodutiva, a frequência aumentou para sete irrigações diárias (06:00h, 07:40 h, 09:20h, 11:00h, 14:20h, 16:00h e 18:00h), durando entre seis e dez minutos cada. Com as temperaturas mais amenas no final do ciclo, houve redução da necessidade de água pelas plantas, acarretando o ajuste da irrigação, que seguiu os mesmos padrões usados na fase vegetativa.



### 3.5. Controle de pragas e doenças

Preventivamente, antes da implantação do experimento, foi realizada a limpeza e retirada de quaisquer restos culturais do local, seguida da aplicação de inseticida e fungicida. Para o controle de pragas utilizou-se o controle cultural associado a inseticidas químicos, recomendados para a cultura, e a aplicação intercalada de produtos biológicos (aplicados semanalmente, a partir 18 DAT), os quais encontram-se detalhados na Tabela 3.

Tabela 3. Produtos utilizados no controle de pragas durante de 05 de fevereiro a 17 de julho de 2021 (162 dias após o transplante (DAT)) no tomate de mesa tipo italiano cv. Grazianni. Piracicaba-SP, 2022

Nome comercial	Grupo químico	Ingrediente comercial	Nº de aplicações	Dose (em 1 L)
BOVERIL WP PL6	Inseticida biológico	<i>Beauveria bassiana</i>	13	2,7 g
Bioexos	Inseticida natural	<i>Metarhizium anisopliae</i>	4	3,8 mL
Shocker	Inseticida biológico	<i>Bacillus amyloliquefaciens e Trichoderma harzianum</i>	5	1,7 g
GR-INN	Inseticida biológico	Óleo de Neem (Triterpenóide)	2	0,9 g
Evidence	Inseticida	Neocotinóide	1	0,3 g
Nuprid	Inseticida	Neocotinóide	2	*
Tiger	Inseticida	Éter piridiloxipropílico	1	1 mL
Engeo Pleno	Inseticida	Piretróide e Neocotinóide	1	1 mL
Vertimec	Inseticida	Avermectina	1	0,75 mL
Capataz	Inseticida	Organofosforado	1	1 mL
Folicur	Fungicida sistêmico	Triazol	1	1 mL
Prevanil	Fungicida preventivo	Isoftalonitrila	1	1,8 mL
Kocide	Fungicida de contato	Hidróxido de cobre	1	3 g

\* 5 g ha<sup>-1</sup>

Foram identificadas duas plantas com a doença vira-cabeça-do-tomateiro, causada pelo vírus do gênero Tosspovírus, sendo retiradas da área experimental e descartadas apropriadamente.

### 3.6. Variáveis analisadas

#### 3.6.1. Produção

Foram realizadas dezesseis colheitas durante o ciclo de cultivo, sendo a primeira realizada em 17 de abril (71 DAT) e a última, no dia 13 de julho de 2021 (158 DAT). Frutos de coloração rosada (30% a 60% do fruto vermelho) a vermelha (60% e 90% da sua superfície do fruto vermelha), conforme a Portaria do MAARA nº 553/95 (BRASIL, 1995), de quatro plantas centrais por parcela, foram colhidos.

As variáveis de produção foram calculadas pela somatória das colheitas realizadas. Os frutos foram divididos em comerciais, não comerciais e totais (dado pela soma de comerciais e não comerciais).

Os frutos comerciais foram classificados, de acordo com o maior diâmetro equatorial, em frutos pequenos (50–65 mm), médios (66–80 mm) e grandes (81–100 mm). Frutos com menos de 50 mm de diâmetro e danos visuais (como rachaduras e manchas) foram considerados como frutos não comercializáveis. A partir dessa classificação os frutos foram contados e realizou-se um cálculo percentual dos frutos comerciais em relação as classes.

A massa média (g) dos frutos foi obtida para cada repetição, pesando-os com balança e dividindo pelo número de frutos.

A produtividade média (kg) por planta total (PT) foi obtida pela soma da produtividade média não comercial (PNC) e comercial (PC).

### 3.6.2. Características qualitativas

Para determinação da qualidade dos frutos, cinco tomates representativos por parcela, foram coletados no dia 14 de maio de 2021 (98 DAT).

As amostras foram lavadas em água corrente e secas em toalha de papel. Posteriormente, os frutos foram triturados e homogeneizados usando um processador de alimentos. A partir de então foram realizadas as análises de teor de sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT), relação SST/ATT, pH e teor de ácido ascórbico.

O teor dos sólidos solúveis totais (SST) foi determinado por leitura direta da polpa homogeneizada com um refratômetro (marca Atago, modelo PR-32 $\alpha$ ) e os valores foram expressos em °Brix.

A acidez titulável (ATT) é expressa a quantidade de ácido em uma amostra representativa, medida em % de ácido cítrico para o tomate. A acidez foi determinada usando-se 10 g da polpa homogeneizada diluída em 90 mL de água destilada. A titulação foi feita com hidróxido de sódio (NaOH) 0,05 N até que a solução atingisse coloração rosada, o que acontece em pH em torno de 8,1 (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

O pH da polpa foi determinado através da leitura direta da polpa homogeneizada com pHgâmetro digital (Marca Oakton modelo 110).

Para a determinação do ácido ascórbico (mg 100g<sup>-1</sup>) ou vitamina C, 10 g da polpa homogeneizada foram diluídas em 90 mL de ácido oxálico a 1%. A titulação foi feita com solução de 2,6-diclorofenol-indofenol (CARVALHO *et al.*, 1990).

### 3.6.3. Teores foliares de nutrientes

No dia 9 de abril de 2021, aos 63 DAT, foram efetuadas amostragens do tecido foliar para avaliação dos teores dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, conforme a metodologia proposta por (MALAVOLTA, Eurípedes; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Coletou-se a terceira folha totalmente expandida a partir do tufo apical, de seis plantas por parcela. As folhas coletadas foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas, sendo posteriormente, levadas ao laboratório IBRA, onde foram analisadas.

### 3.6.4. Teores de nitrato e amônio na solução drenada

Foram analisados os teores de nitrato e amônio da solução drenada para determinar as concentrações desses íons presentes na solução do substrato. Para isso, foram adicionados 70 ml de água destilada aplicada por vaso para a coleta de 50 ml de solução para análise de nitrato e amônio. As análises foram feitas aos dias 5, 15, 30, 45 e 60 DAT, totalizando cinco períodos de amostragens.

As amostras das soluções drenadas foram coletadas em recipientes plásticos, levadas ao laboratório e analisadas no mesmo dia. As concentrações de NO<sup>3-</sup> (NO<sup>3-</sup><sub>drenado</sub>) e de NH<sup>4+</sup> (NH<sup>4+</sup><sub>drenado</sub>) das soluções drenadas

foram determinadas por meio de testes rápidos, utilizando medidores de íons específicos (MIE) da marca Horiba. Os MIE foram calibrados antes do início das análises, de acordo com a recomendação do fabricante, e calibrados novamente a cada dez amostras para garantir a máxima precisão dos resultados.

### **3.7. Análise estatística**

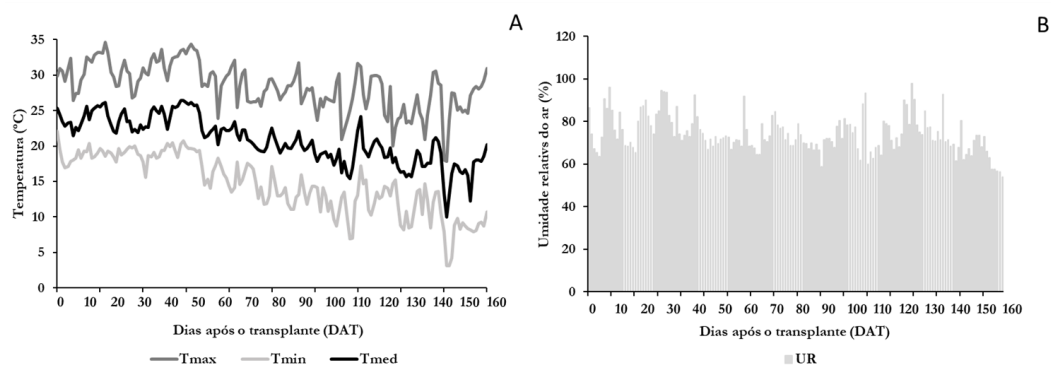
Os dados foram testados quanto à homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos. Os resultados das variáveis de resposta foram analisados estatisticamente utilizando-se a análise de variância (ANOVA) através do teste F ( $p < 0,05$ ). Para as diferenças estatisticamente significativas, a análise de regressão foi realizada, com o uso o Software SISVAR 5.3.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Características climáticas

As médias de temperatura e umidade relativa do ar durante o período de estudo, encontram-se na Figura 1.

**Figura 1.** A) Dados de temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) (°C); B) Umidade relativa do ar (UR) (%) registradas durante o ciclo de cultivo do tomate de 05 de fevereiro a 13 de julho de 2021 (158 DAT). Piracicaba- SP, 2022.



Durante o estágio vegetativo, até 35 DAT, a temperatura média variou entre 21,5 e 26,2 °C, com 23,7°C de média para esse período, sendo 18,8°C e 30,5°C as médias das temperaturas mínimas e máximas (Figura 1). Temperaturas acima de 25°C foram verificadas entre 15 e 20 DAT, sem atingir mais que 26,2°C, estando dentro da faixa tolerável para o estágio de desenvolvimento (ALVARENGA, 2013). A umidade relativa média foi de 79,4% (Figura 1), acima do considerado ideal (entre 50 e 70%).

Entre 35 DAT e 71 DAT, ocasião da primeira colheita, a temperatura média ficou entre 20,2 e 26,5°C, com média de 23,6°C para o período, sendo 17,7°C e 30,8°C as médias das temperaturas mínimas e máximas (Figura 1). De 71 DAT até 100 DAT, a temperatura média variou de 17,8 a 22,1°C, com média de 20,0°C para o período, sendo 13,7°C e 27,4°C as médias das temperaturas mínimas e máximas (Figura 1). De 100 DAT até 130 DAT, a temperatura média variou de 15,4 a 24,2°C, com média de 18,6°C para o período, sendo 12,0°C e 26,4°C as médias das temperaturas mínimas e máximas (Figura 1). De 130 DAT até 158 DAT, a temperatura média variou de 10,0 a 20,7°C, com média de 16,9°C para o período, sendo 9,5°C e 25,6°C as médias das temperaturas mínimas e máximas (Figura 1).

Considerando esses dados climáticos em diferentes estágios fenológicos das plantas, os valores registrados de temperatura, até 71 DAT, estão compreendidos dentro dos considerados como ótimos para a cultura. Em função dos estágios de crescimento e desenvolvimento do tomateiro, consideram-se como faixas ótimas de temperatura: 18 a 24°C durante o florescimento; 19 a 24°C (dia) e 14 a 17°C (noite) para o pegamento de frutos e 20 a 24°C para a maturação (ALVARENGA, 2013).

A partir de 71 DAT foram observadas quedas na temperatura, no entanto, estão situados dentro das faixas de temperatura consideradas toleráveis, que estão compreendidas entre 10°C e 34°C, havendo maior ocorrência de abortamento de flores e de frutos em temperaturas extremas (ALVARENGA, 2013).

A UR média nos mesmos intervalos mencionados para as temperaturas, a partir de 35 DAT até 158 DAT, foram, respectivamente, de: 73,1; 72,9; 75,9 e 69,3% (Figura 1). Esses valores podem ser considerados dentro da umidade relativa do ar ideal para a cultura, que se situa entre 50% e 70%, já que se apresentam em valores médios.

## 4.2. Produção

O número de frutos comerciais (NFC) e massa média dos frutos classificados como pequeno (MMP), médio (MMM) e grande (MMG) encontram-se na Tabela 4. O NFC e NFT apresentaram diferenças significativas segundo o teste F ( $p>0,05$ ) em função da aplicação das diferentes doses do fertilizante de liberação controlada (FLC) na cultura do tomateiro (Tabela 4).

Tabela 4. Número de frutos comerciais (NFC), não comerciais (NFNC) e total (NFT) por planta, porcentagem de frutos classificados como pequeno (P) (50-65 mm), médio (M) (66-80 mm) e grande (G) (81-100 mm) em relação ao NFC e a massa média dos frutos classificados como pequeno (MMP), médio (MMM) e grande (MMG) de tomateiro em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, avaliado entre 71 e 158 dias após o transplante (DAT). Piracicaba, 2022.

Dose (g planta <sup>-1</sup> )	NFC	NFNC	NFT	P	M	G	MMP	MMM	MMG
	unidade			%			g fruto <sup>-1</sup>		
0	57 a	23 a	80 a	26 a	55 a	18 a	59,89 a	95,43 a	145,92 a
3	55 a	19 a	74 a	26 a	58 a	16 a	62,45 a	95,78 a	135,89 a
6	56 a	18 a	73 a	27 a	57 a	16 a	69,48 a	99,55 a	139,19 a
9	77 a	22 a	99 a	23 a	58 a	19 a	56,89 a	94,85 a	129,51 a
12	55 a	22 a	77 a	26 a	50 a	24 a	56,85 a	92,47 a	131,40 a
CV%	14,25	26,83	8,62	14,37	10,47	31,12	11,99	4,28	9,76
Média geral	60	21	80	26	56	19	61,11	95,62	136,38

Os valores médios para NFC e NFT, foram, respectivamente: 60 e 80 frutos por planta, enquanto o NFNC foi de 21 frutos por planta, cerca de 26% do NFT. Em relação ao NFC, a maior proporção de frutos, analisada em relação à média geral, encontra-se na classe M (56%) e a menor, na G (19%) (Tabela 4).

As massas médias de frutos P, M e G também não foram afetadas pelas doses do fertilizante, sendo 61,11; 95,62 e 136,38 g (Tabela 4), respectivamente, acima do valor médio obtido para o mesmo cultivar, também em vaso e fertirrigado, que foi de 88,46 g (MARTINS; PAULA, 2020).

As produtividades, tanto comercial, como não comercial e total, não apresentaram diferenças significativas segundo o teste F ( $p>0,05$ ) em função da aplicação das diferentes doses do fertilizante de liberação controlada na cultura do tomateiro, sendo os valores médios obtidos, respectivamente: 5,32; 0,90 e 6,22 kg planta<sup>-1</sup> (Tabela 5). O experimento foi conduzido com 12 a 13 cachos, o que pode explicar esses valores de produtividade. O alto índice de frutos não comercializados (26%) também pode ser o responsável por menores valores de PCP e PTP.

Tabela 5. Produtividade média comercial (PCP), não comercial (PNCP) e total (PTP), por planta (kg) e produtividade comercial (PC), não comercial (PNC) e total (PT), por hectare, de tomateiro em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, avaliado entre 71 e 158 dias após o transplante (DAT). Piracicaba, 2022.

Dose (g planta <sup>-1</sup> )	Kg planta <sup>-1</sup>			t ha <sup>-1</sup>		
	PCP	PNCP	PTP	PC	PNC	PT
0	5,39 a	1,01 a	6,40 a	85,77 A	16,1 a	101,8 a
3	5,18 a	0,81 a	5,99 a	82,36 A	12,9 a	95,2 a
6	5,32 a	0,94 a	6,26 a	84,51 a	15,0 a	99,5 a
9	5,59 a	0,79 a	6,38 a	88,92 a	12,5 a	101,4 a
12	5,11 a	0,94 a	6,05 a	81,22 a	14,9 a	96,1 a
<b>Média geral</b>	<b>5,32</b>	<b>0,9</b>	<b>6,22</b>	<b>84,55</b>	<b>14,26</b>	<b>98,82</b>

<sup>ns</sup> não significativo. \*\*Significativo pelo teste de F, p<0,01; \*Significativo pelo teste de F, p<0,05. CV: coeficiente de variação.

### 4.3. Características qualitativas

Os resultados da análise estatística relacionados às características qualitativas encontram-se na Tabela 6. Segundo o teste F ao nível de significância de 5%, não houve diferença significativa para as variáveis estudadas, em função da aplicação das diferentes doses do fertilizante de liberação controlada (FLC) na cultura do tomateiro. Resultado similar foi observado por Barbosa (2014), em tomate para indústria, não sendo verificadas diferenças para as variáveis SST e pH, com aplicação de fertilizante convencional NPK, fertilizantes parcialmente recobertos com polímeros e fertilizantes estabilizados com inibidor de nitrificação.

Tabela 6. Variáveis qualitativas de sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável total (ATT), relação SST/ATT, potencial hidrogeniônico (pH) e ácido ascórbico (AA) de tomateiro em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, avaliado aos 98 dias após o transplante (DAT). Piracicaba, 2022.

Dose (g planta <sup>-1</sup> )	SST	ATT	SST/ATT	pH	AA
	(°Brix)	(% ác. cítrico)			(mg 100 g <sup>-1</sup> )
0	5,48 a	0,40 a	13,80 a	4,20 a	9,71 a
3	4,68 a	0,39 a	12,01 a	4,16 a	6,25 a
6	4,78 a	0,35 a	13,50 a	4,15 a	7,79 a
9	4,90 a	0,37 a	13,41 a	3,11 a	7,12 a
12	5,33 a	0,37 a	14,58 a	4,11 a	8,65 a
<b>Doses</b>	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Regressão linear</b>	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Regressão quadrática</b>	ns	ns	ns	ns	ns
<b>CV%</b>	<b>8,23</b>	<b>8,42</b>	<b>9,80</b>	<b>26,11</b>	<b>22,73</b>
<b>Média geral</b>	<b>5,03</b>	<b>0,38</b>	<b>13,46</b>	<b>3,94</b>	<b>7,90</b>

<sup>ns</sup> não significativo. \*\*Significativo pelo teste de F, p<0,01; \*Significativo pelo teste de F, p<0,05. CV: coeficiente de variação.

Os valores médios observados para SST, ATT e relação SST/ATT foram, respectivamente, 5,03° Brix, 0,38 % de ácido cítrico e 13,46 (Tabela 6). Estes valores estão de acordo com os observados na literatura para o cultivar utilizado, os quais se situam na faixa de 4,36 a 5,32 ° Brix para SST e 0,37 a 0,63 % de ácido cítrico para ATT e 7,2 a 10,34 para SST/ATT (SILVEIRA, 2018; MARTINS; PAULA, 2020; SCHNEIDER, 2020).

Os parâmetros obtidos neste estudo também atendem os padrões considerados ideais para ATT e SST/ATT, pois foram superiores a 0,32% de ácido cítrico e 10, respectivamente (KADER *et al.*, 1978). No entanto, o teor de SST difere do considerado ideal, que está entre 3,0 e 4,5° para tomate *in natura* (ALVARENGA, 2013).

O valor elevado de SST neste trabalho pode ser explicado pelo estágio de maturação dos frutos, colhidos na fase de coloração rosada a vermelha, nas quais os processos fisiológicos de maturação estão ocorrendo, havendo

reações que provocam a quebra do amido para açúcares simples e a dissolução das matérias pécicas (RESENDE *et al.*, 2004).

O valor do pH observado (3,94) está de acordo com a faixa ideal de pH de 3,7 a 4,6, para frutos de tomate, segundo experimento realizado com 21 híbridos e 2 cultivares (SILVA *et al.*, 2021), no entanto, abaixo dos valores encontrados para o mesmo cultivar, que foram de 4,52 (SILVEIRA, 2018) e 4,30 (FARA, 2020). Tal variação pode ser explicada pelas condições de cultivo, como época de plantio, manejo da nutrição, substrato utilizado, frequência de irrigação, os quais afetam diretamente as características qualitativas do fruto.

O ácido ascórbico, ou vitamina C, também não foi afetado pelos tratamentos, variando entre 6,25 e 9,10 mg 100 g<sup>-1</sup>, sendo observado o valor médio de 7,9 mg 100 g<sup>-1</sup> (Tabela 6). Esse valor está compreendido na faixa relatada em diferentes trabalhos realizados com tomate, variando entre 7,20 e 45,60 mg 100g<sup>-1</sup> (ABAK; CELIKEL, 1994; EL-GIZAWY *et al.*, 1993; SAMPAIO; FONTES, 1998). A ampla variação justifica-se, assim como o pH, pelas condições de cultivo, pois são dependentes da época do ano, cultivar, luz, adubação e substrato. Cultivos em ambiente protegido podem apresentar menores incidências de luz solar, em função da cobertura plástica e maior densidade plantas, fator que pode ser limitante para o ácido ascórbico, pois, de acordo com Pék; Helyes e Lugasi (2010), maior incidência de luz solar resulta em frutos com maiores concentrações de vitamina C.

#### 4.4. Teores de nutrientes foliares

As médias observadas para os teores de nutrientes foliares encontram-se na Tabela 7. Não houve diferença significativa para todos os nutrientes, segundo o teste F ( $p>0,05$ ), em função da aplicação das diferentes doses do fertilizante de liberação controlada (FLC) na cultura do tomateiro. A utilização de fertilizante convencional NPK, fertilizantes parcialmente recobertos com polímeros e fertilizantes estabilizados com inibidor de nitrificação, em cultivo de tomate indústria, também não resultou em aumento nas concentrações de nutrientes, segundo BARBOSA, 2014.

De acordo com Trani *et al.* (2015), as faixas de teores de N, P, K, Ca, Mg e S consideradas adequadas para as folhas do tomateiro são: 40 a 60; 4 a 8; 30 a 50; 14 a 40; 4 a 8; e 4 a 10 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Neste trabalho, enquadram-se com os critérios citados, os valores médios encontrados nas análises foliares do K (34,48 g kg<sup>-1</sup>), Ca (31,16 g kg<sup>-1</sup>), Mg (6,31 g kg<sup>-1</sup>) e S (4,33 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 7).

Tabela 7. Teores médios de macro e micronutrientes de folhas de tomateiro em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada, avaliado aos 63 dias após o transplante (DAT). Piracicaba, 2022.

Dose (g planta <sup>-1</sup> )	N	P	K	Ca	Mg	S	mg kg <sup>-1</sup>				
							Cu	Fe	Zn	Mn	B
0	39,60 a	9,20 a	37,00 a	26,90 a	5,53 a	4,28 a	230,00 a	71,00 a	14,00 a	39,50 a	74,00 a
3	38,34 a	9,15 a	33,58 a	33,90 a	7,18 a	4,33 a	210,00 a	63,00 a	13,50 a	54,50 a	75,50 a
6	38,70 a	9,30 a	34,78 a	26,68 a	6,25 a	4,30 a	174,00 a	71,00 a	14,00 a	44,00 a	54,25 a
9	36,00 a	8,60 a	33,18 a	31,60 a	5,98 a	4,30 a	129,00 a	67,00 a	13,50 a	48,50 a	74,25 a
12	38,16 a	8,75 a	33,88 a	36,73 a	6,63 a	4,43 a	283,50 a	68,00 a	14,75 a	61,50 a	84,75 a
CV%	8,63	5,08	11,36	17,93	18,64	2,82	33,17	23,38	17,04	12,45	24,96
Média geral	38,16	9,00	34,48	31,16	6,31	4,33	205,30	68,00	13,95	49,60	72,55

<sup>ns</sup>não significativo. <sup>\*\*</sup>Significativo pelo teste de F,  $p<0,01$ ; <sup>\*</sup>Significativo pelo teste de F,  $p<0,05$ . CV: coeficiente de variação.

O teor de N variou entre 36,00 e 39,60 g kg<sup>-1</sup>, sendo observado um valor médio de 38,16 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 7). Já para o P, os valores variaram entre 8,60 e 9,30 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 7), estando o valor médio observado (9,0 g kg<sup>-1</sup>) 1,00 g kg<sup>-1</sup> acima da faixa considerada adequada (TRANI *et al.*, 2015). Tais variações podem ser explicadas em função do próprio material genético, uma vez que existem diferentes exigências nutricionais em função dessa característica.

Para os micronutrientes Cu, Fe, Zn, Mn e B, os valores adequados estão entre: 8 e 15; 100 e 300; 35 e 100; 50 e 250 e 35 e 100 mg kg<sup>-1</sup>; respectivamente (TRANI *et al.*, 2015). O teor observado para o B (72,55 mg kg<sup>-1</sup>) corresponde a faixa considerada adequada. Para os demais micronutrientes, os valores foram inferiores a faixa adequada (Fe (68,0 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (13,95 mg kg<sup>-1</sup>) e Mn (49,60 mg kg<sup>-1</sup>)), com exceção do Cu (205,30 mg kg<sup>-1</sup>) (Tabela 7), cujos teores obtidos foram bem superiores. Entretanto, as plantas não apresentaram sintomas de deficiência de Fe, Mn e Zn ou de toxicidade de Cu. Ressalta-se que o valor de Mn, encontra-se, apenas, 0,40 mg kg<sup>-1</sup> abaixo da faixa considerada adequada (TRANI *et al.*, 2015).

Ao avaliar os teores de micronutrientes pelo tomateiro em ambiente protegido, Rodrigues *et al.* (2002) observaram uma absorção de Cu oito vezes maior que o recomendado, nas duas primeiras semanas após o transplante das mudas do cultivar Lúcia. Em estudo realizado com duas cultivares de tomate (Santa Clara e Híbrido F1 Verano) testando diferentes compostos orgânicos também foram observados teores de Cu acima da faixa adequada, embora não tenham sido observados sintomas de fitotoxidez (FRANÇA *et al.*, 2017). O mesmo foi observado em pimentão fertirrigado (SANTOS *et al.*, 2020).

Os menores teores foliares de Zn e Fe podem ser explicados pela inibição competitiva provocada pelo Cu (MALAVOLTA, 2006).

#### 4.5. Teores de nitrato

As doses de fertilizante de liberação controlada influenciaram o teor de nitrato na solução drenada pelos vasos (NO<sub>3</sub>-drenado), variando em função das datas, exceto aos 30 DAT (Tabela 8), em que não houve diferença entre os tratamentos.

Tabela 8. Teor de nitrato da solução drenada pelos vasos (NO<sub>3</sub>-drenado) em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada. Piracicaba, 2022.

Dose (g planta <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -drenado (mg L <sup>-1</sup> )										
	5 DAT		15 DAT		30 DAT		45 DAT		60 DAT		
0	72,19	b BC	96,28	a B	87,56	a BC	69,06	b C	262,81	b A	
3	89,89	ab B	7,38	b C	91,43	a B	74,65	b B	219,10	c A	
6	70,73	b D	15,51	b E	101,86	a C	128,82	a B	186,42	d A	
9	98,85	a B	7,51	b C	82,76	a B	75,16	b B	183,34	d A	
12	73,25	b BC	3,89	b D	88,72	a B	53,47	b C	292,77	a A	
<b>DAT</b>						741,1108	**				
<b>Doses</b>						13,8685	**				
<b>DAT x Dose</b>						28,1341	**				
<b>CV%</b>						12,27					
<b>Média</b>	<b>80,98</b>		<b>26,11</b>		<b>90,46</b>		<b>80,66</b>		<b>228,89</b>		

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores médios de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas soluções drenadas aos 5, 15, 30, 45 e 60 DAT representaram 15,97%; 5,15%, 17,84%, 15,90% e 46,13% em relação ao total de N aplicado através do fertilizante de liberação controlada.



De acordo com a curva de liberação dos nutrientes a partir do fertilizante, a liberação de nitrogênio para o intervalo de 30 e 60 dias apresenta os valores de 19% e 38%, respectivamente. Aos 30 dias, a taxa de liberação neste experimento foi levemente menor em relação a indicada pela empresa e aos 60 dias foi 21% superior, provavelmente devido a temperatura mais elevada registrada neste período de cultivo, que alcançou valores superiores a 30°C. Fatores que agem sob essa taxa de liberação, como a concentração dos nutrientes e proporção de recobrimento, espessura do recobrimento, sua qualidade (fissuras, além da porosidade) e temperatura associada a umidade do substrato utilizado no cultivo podem os percentuais de liberação de N ao longo do tempo.

A distribuição em porcentagens, condiz com o conceito de fertilizante de liberação controlada, que apresenta mecanismos de liberação capazes de prolongar a disponibilidade de nutrientes no tempo, ajustando-se a demanda da planta através de uma barreira física, que consiste num recobrimento ou encapsulamento” (TRENKEL, 2010). Tal revestimento é quem controla a penetração de água, a taxa de dissolução do fertilizante e a duração do tempo de liberação dos nutrientes (LIU *et al.*, 2014). O material utilizado no FLC, no experimento, é o poliuretano, sendo considerados um dos materiais de maior resistência, conferindo-lhe maior precisão de controle (TRENKEL, 2010). A liberação ocorre por difusão do material utilizado para o recobrimento do fertilizante, com a entrada de água, na forma de vapor e se condensa dentro do grânulo, resultando na dissolução parcial do mesmo (NAZ; SULAIMAN, 2016).

Como o ambiente é formado por diversas variáveis, interagindo intra e interespecificamente, possivelmente, outros fatores podem alterar o processo de liberação, como ocorreu aos 60 DAT do cultivo realizado.

O teor de  $\text{NO}_3^-$  drenado foi mais pronunciado aos 60 DAT para todos os tratamentos, em relação aos demais períodos. Esse aumento da concentração pode ter ocorrido pelo aumento do volume de água aplicado que se iniciou aos 48 DAT, com 7 pulsos de irrigação de 10 minutos, gerando um volume de solução por dia de 667 ml por vaso. Isso consequentemente aumentou a quantidade total de  $\text{NO}_3^-$  aplicado para todos os tratamentos.

O acúmulo de  $\text{NO}_3^-$  drenado foi mais pronunciado aos 60 DAT para todos os tratamentos, em relação aos demais dias. Esse aumento da concentração pode ter ocorrido pelo aumento da irrigação, que ocorreu aos 48 DAT, passando a ser ministrada de 6 para 10 minutos, o que resultou em maior volume total de solução nutritiva fornecida às plantas. Isso consequentemente aumentou a quantidade total de  $\text{NO}_3^-$  aplicado para todas as doses (Tabela 8).

O controle, sendo avaliado em relação as datas, teve o maior teor de  $\text{NO}_3^-$  drenado aos 60 DAT, seguido de 30 DAT, sem diferir dos valores observados aos 5 e 45 DAT. Essas variações podem ser explicadas pela ausência de solução nutritiva nos tratamentos com FLC nos 20 primeiros dias, sendo disponibilizada somente a água da irrigação, diferentemente do controle, que recebeu a solução desde o início. A maior concentração no controle em relação aos demais tratamentos também pode ser explicada pelo manejo da fertirrigação, que aos 7 DAT, passou a ser disponibilizada de 2 para 4 minutos, aumentando o volume de solução nutritiva e a dose total N, contribuindo para o aumento de  $\text{NO}_3^-$  drenado.

Aos 5 DAT, a dose 9 g planta<sup>-1</sup> (98,85 mg L<sup>-1</sup>) teve o maior teor de  $\text{NO}_3^-$  drenado, sem diferir da dose 3 (89,89 mg L<sup>-1</sup>), que por sua vez, não diferiu dos demais tratamentos, incluindo o controle. No entanto, aos 15 DAT, a utilização de FLC, em todas as doses, foi cerca de 11 vezes menor que o controle (96,28 mg L<sup>-1</sup>), quando comparado o valor médio dos tratamentos com FLC (8,57 mg L<sup>-1</sup>) (Tabela 8).

Aos 45 DAT, a dose 6 g planta<sup>-1</sup> apresentou maior valor em relação aos demais, entretando, na avaliação seguinte (60 DAT) teve o menor valor, sem diferir da dose 9 g planta<sup>-1</sup>, o que poderia ser explicado por eventual ajuste de liberação ao longo do tempo g planta<sup>-1</sup>.

Ao 60 DAT, o maior de  $\text{NO}_3^-$  drenado foi verificado na maior dose com FLC, o que pode ser explicado pela maior dose total N de fornecida, contribuindo para o aumento de  $\text{NO}_3^-$  drenado. Em estudo realizado em tomateiro, foram observados maiores teores de  $\text{NO}_3^-$ , em todas as datas avaliadas (65 DAT, 93 DAT e 143 DAT) em relação ao controle, com a utilização des ureia de liberação controlada, com a aplicação via foliar (ZHU; ZHANG; MA, 2012). No presente experimento esse padrão não ocorreu em todas as avaliações, o que sugere que a aplicação via fertirrigação é mais eficiente.

#### 4.6. Teores de amônio

As doses de fertilizante de liberação controlada influenciaram o teor de amônio na solução drenada pelos vasos ( $\text{NH}_4^+$ -drenado) aos 5 e 15 DAT, sendo que aos 5 DAT apresentou valores mais elevados  $\text{NH}_4^+$ -drenado (Tabela 9). Fertilizantes de liberação controlada com diferentes taxas de liberação (25, 50 e 75%) foram avaliados em pimenta, sendo observado maiores teores de  $\text{NH}_4^+$  na primeira avaliação, assim como no presente trabalho, variando entre 9,8 e 21,5  $\text{mg L}^{-1}$ , com valor médio de 15,9  $\text{mg L}^{-1}$  (CSIZINSZKY, 1994).

As doses de fertilizante de liberação controlada influenciaram o teor de amônio na solução drenada pelos vasos ( $\text{NH}_4^+$ -drenado) ao longo do tempo. Foi possível observar que o controle apresentou uma redução nos teores de  $\text{NH}_4^+$ , sendo o menor teor constatado aos 60 DAT, sem diferir dos 45 DAT (Tabela 9). Esse comportamento poderia ser devido a uma provável nitrificação de  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_3^-$  (MERHAUT *et al.*, 2006).

Tabela 9. Teor de amônio da solução drenada pelos vasos ( $\text{NH}_4^+$ -drenado) em função das diferentes doses de fertilizante de

Dose (g planta <sup>-1</sup> )	$\text{NH}_4^+$ -drenado ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
	5 DAT	15 DAT	30 DAT	45 DAT	60 DAT
0	12,51 b A	5,16 a B	3,61 a BC	2,50 a CD	0,01 a D
3	13,59 ab A	0,28 b C	3,59 a B	0,24 a C	0,00 a C
6	13,80 ab A	0,34 b C	4,24 a B	0,29 a C	0,05 a C
9	16,06 a A	0,65 b C	5,11 a B	0,98 a C	0,25 a C
12	14,28 ab A	0,44 b C	3,93 a B	0,68 a C	0,36 a C
DAT			372,6646 **		
Doses			3,2645 *		
DAT x Dose			3,3920 **		
CV%			32,34		
<b>Média</b>	<b>14,05</b>	<b>1,37</b>	<b>4,10</b>	<b>0,94</b>	<b>0,13</b>

liberação controlada. Piracicaba, 2022.

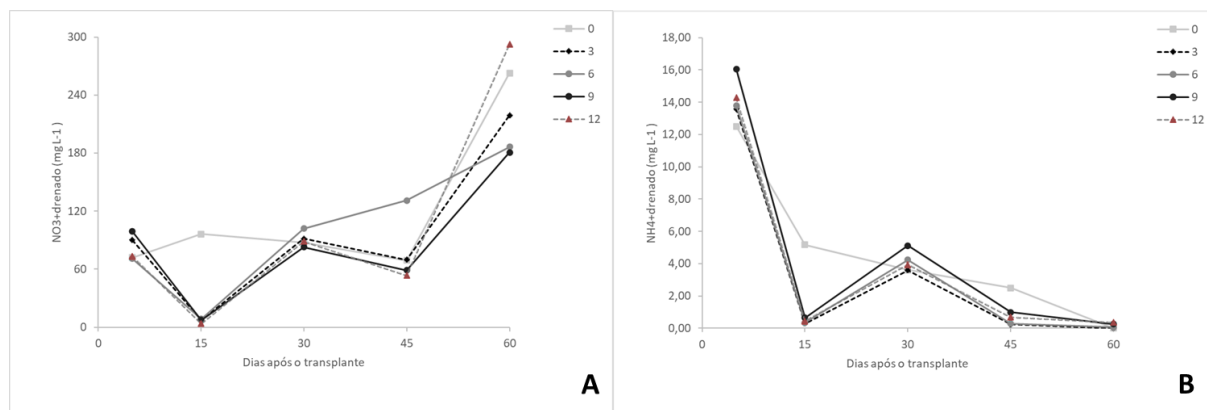
As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para os tratamentos com FLC, observou-se maior taxa de liberação aos 5 DAT, seguida de 30 DAT, com as menores taxas aos 15, 45 e 60 DAT. Comportamento similar foi observado no uso de Multicote, durante as primeiras 17 semanas de avaliação (das 47 semanas avaliadas) (MERHAUT *et al.*, 2006), com picos de variação. Fertilizantes de liberação controlada com diferentes taxas de liberação (25, 50 e 75%) foram avaliadas em pimenta, sendo observado maiores teores de  $\text{NH}_4^+$  na primeira avaliação, assim como no presente trabalho, variando entre 9,8 e 21,5  $\text{mg L}^{-1}$ , com valor médio de 15,9  $\text{mg L}^{-1}$  (CSIZINSZKY, 1994).

Em experimento realizado em tomate irrigado no sulco, avaliando FLC com diferentes taxas de liberação de N (17 e 21,8%), os teores de  $\text{NH}_4^+$ , aos 3 DAT, foram os mais altos em relação as demais avaliações (CSIZINSZKY, 1994), como observado nesse experimento. Esse mesmo estudo também observou um pico nos

teores de  $\text{NH}_4^+$ , com posterior redução, sendo os valores, de 3, 49, 71 e 119 DAT: 9,0; 2,4; 5,0 e 0,3  $\text{mg L}^{-1}$  para FLC a 17% e, 9,1; 2,8; 4,1 e 0,4  $\text{mg L}^{-1}$  para FLC a 21,8%.

**Figura 2.** A) Teor de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ -drenado) e B) teor de amônio ( $\text{NH}_4^+$ -drenado) da solução drenada pelos vasos em função das diferentes doses de fertilizante de liberação controlada. Piracicaba- SP, 2022.



#### 4.7. Análise financeira

Os resultados obtidos em relação a análise financeira dos custos com fertilizantes estão na Tabela 10. Para a fase reprodutiva (de 35 DAT a 158 DAT) ressalta-se que não houve diferença entre os vasos que recebem FLC e o controle, em relação a quantidade de solução nutritiva ministrada.

A economia gerada com o uso de FLC, nesse experimento, foi de 1.751,48 reais por tonelada (Tabela 10). Essa economia aplicada em função da produtividade média brasileira de tomate, estimada em março de 2022, que foi de 69,48 t  $\text{ha}^{-1}$  (IBGE, 2022), ultrapassa 120 mil reais por ha. Ainda, ressalta-se que esse valor refere-se apenas ao custo dos fertilizantes, podendo ser maior se outros fatores fossem computados, como a mão-de-obra, a qual é reduzida com o usos de FLC, pois não é preciso realizar o preparo da solução. Esse resultado também foi observado em em viveiro de flores ornamentais, em que o uso de FLC resultou em menor custo, sem diferenças no crescimento das plantas (RUDIN, 2014).

Tabela 10. Análise financeira dos custos totais com fertilizantes, usados nos tratamentos, com a adição do fertilizante de liberação Multicote Agri e no controle, utilizados na cultura do tomateiro. Piracicaba, 2022.

Fertilizantes	Custo (R\$ t <sup>-1</sup> )						Economia (R\$ t <sup>-1</sup> )
	Tratamentos			Controle			
	Fase vegetativa	Fase reprodutiva	Com Multicote Agri	Fase vegetativa	Fase reprodutiva	Sem Multicote Agri	
Nitrato de cálcio	38,70	273,72	312,42	85,15	273,72	358,86	46,44
Sulfato de potássio	30,95	298,34	329,29	175,09	298,34	473,43	144,14
Sulfato de magnésio	17,59	115,57	133,16	165,81	115,57	281,38	148,22
Fosfato monopotássico (MKP)	36,48	129,63	166,11	573,21	129,63	702,85	536,74
Poly-feed 19-19-19	22,23	89,27	111,50	898,19	89,27	987,47	875,96
Multicote Agri	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	-\$0,03
<b>Total</b>	<b>145,97</b>	<b>906,54</b>	<b>1.052,51</b>	<b>1.897,45</b>	<b>906,54</b>	<b>2.803,99</b>	<b>1.751,48</b>

#### 4.8 Conclusões

- Os fatores relacionados a produção, qualidade e teor foliar de nutrientes foram mantidos, independentemente da utilização de FLC, assim como da dose.
- As doses de FLC influenciaram os teores de nitrato e amônio da solução drenada apresentaram variações, ao longo do tempo, seguindo o padrão de liberação sigmoidal dos FLC.
- A análise financeira revelou uma economia significativa no custo de fertilizantes utilizando FLC.

## REFERÊNCIAS

ABAK, K.; CELIKEL, G. COMPARISON OF SOME TURKISH ORIGINATED ORGANIC AND INORGANIC SUBSTRATES FOR TOMATO SOILLESS CULTURE. 1 Aug. 1994. **Acta Horticulturae** [...]. [S. l.]: International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 1 Aug. 1994. p. 423–428. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.366.52>.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Viçosa: UFLA, 2013.

BARBOSA, J. M. **Fertilizantes com polímeros, DMPP e EDTA aplicados em tomate industrial e efeito residual na soja**. 2014. 77 f. Goiânia, 2014.

BAR-YOSEF, B. Fertilização sob irrigação por gotejamento. *In*: PALGRAVE, D. A. (ed.). **Fluid fertilizer: Science and technology**. 1st ed. [S. l.]: CRC Press, 1991. p. 285–329. <https://doi.org/10.1201/9781003065746>.

BIJAY-SINGH; CRASWELL, E. Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: an increasingly pervasive global problem. **SN Applied Sciences**, vol. 3, no. 518, p. 1–24, 1 Apr. 2021. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>.

BRANDÃO FILHO, J. U. T.; GOTO, R.; BRAGA, R. de S.; HACHMANN, T. L. Solanáceas. **Hortaliças-fruto**. Maringá-PR: EDUEM, 2018. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0004>.

BRASIL. Portaria nº 553, de 30 de agosto de 1995. Ministério da Agricultura do Abastecimento e da Reforma Agrária- MAARA. **Diário Oficial da União**, p. 25–25, 1995. .

CARVALHO, C. R. L.; MANTOVANI, D. M. B.; CARVALHO, P. R. N.; MORAES, R. M. M. **Análises químicas de alimentos**. 121st ed. Campinas: Ital, 1990. . Accessed on: 1 Jun. 2022.

CEAGESP. **Hortipedia: Caracterização, escolha e controle de qualidade das frutas e hortaliças frescas para utilização em Serviços de Alimentação- Tomate**. 2020. Available at: <https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/tomate/>. Accessed on: 18 May 2022.

CONAB, C. N. D. ABASTECIMENTO. **Boletim Hortigranjeiro abr. 2022**. Brasília: [s. n.], 2022.

CSIZINSZKY, A. A. Effect of controlled (slow) release nitrogen sources on tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Solar Set. 102., 1989. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society** [...]. [S. l.: s. n.], 1989. vol. 102, p. 348–350.

CSIZINSZKY, A. A. Yield response of bell pepper and tomato to controlled-release fertilizers on sand. **Journal of Plant Nutrition**, vol. 17, no. 9, p. 1535–1549, 1 Aug. 1994. <https://doi.org/10.1080/01904169409364826>. Accessed on: 10 Jul. 2022.

DA SILVA, E. M.; LIMA, C. J. G. de S.; DUARTE, S. N.; BARBOSA, F. da S.; MASCHIO, R. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características da berinjela cultivada em ambiente protegido. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 44, no. 1, p. 150–158, 2013. DOI 10.1590/S1806-66902013000100019. Available at: [http://www.scielo.br/j/rca/a/CfMP69CSqFTPVzZF8fR\]tqs/](http://www.scielo.br/j/rca/a/CfMP69CSqFTPVzZF8fR]tqs/). Accessed on: 17 May 2022.

DE SOUZA, M. S.; DE MEDEIROS, J. F.; DA SILVA, M. V. T.; DA SILVA, O. M. dos P.; CHAVES, S. W. P. Estado nutricional da melancia fertirrigada com doses de nitrogênio e fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 35, no. 4, p. 2301–2316, 2014. .

DUHAN, J. S.; KUMAR, R.; KUMAR, N.; KAUR, P.; NEHRA, K.; DUHAN, S. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. **Biotechnology Reports**, vol. 15, p. 11–23, 1 Sep. 2017. <https://doi.org/10.1016/J.BTRE.2017.03.002>. Accessed on: 12 Jul. 2022.

EL-GIZAWY, A. M.; ABDALLAH, M. M. F.; GOMAA, H. M.; MOHAMED, S. S. EFFECT OF DIFFERENT SHADING LEVELS ON TOMATO PLANTS. 2. YIELD AND FRUIT QUALITY. 1 Feb. 1993. **Acta Horticulturae** [...]. [S. l.]: International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 1 Feb. 1993. p. 349–354. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.323.32>.

EVANGELISTA, B. S.; RIBEIRO, B. G.; NARDACHIONE, E.; JAMBASSI, J. R.; SAMPAIO, L. B.; ROMANELLO, M.; SOARES, R. Z. 2º Reporte anual do mercado de fertilizantes. **GlobalFert**, vol. 148, p. 148–162, 2021. Available at: <https://www.globalfert.com.br>. Accessed on: 11 May 2022.

FARA, S. J. **Efeito do intervalo de irrigação no desenvolvimento e produção da cultura do tomate para mesa**. 2020. 80 f. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

FARA, S. J.; TEIXEIRA DELAZARI, F.; SILVA GOMES, R.; ARAÚJO, W. L.; DA SILVA, D. J. H. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, vol. 255, p. 86–95, 20 Sep. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.025>. Accessed on: 8 Jul. 2022.

FIGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3rd ed. Viçosa-MG: UFV, 2013.

FRANÇA, F. C. T.; DA SILVA, E. C.; PEDROSA, M. W.; DE ALMEIDA CARLOS, L. Adubos orgânicos no cultivo e nutrição mineral de tomateiro. **Ambiência**, vol. 13, p. 235–244, 2017. .

GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G. Marcha de absorção de nutrientes pelo tomateiro. **Bragantia**, vol. 22, no. unico, 1963. <https://doi.org/10.1590/s0006-87051963000100064>.

GLOBALFERT. **Conflito entre Rússia e Ucrânia: análise do mercado de fertilizantes**. 2022. .

HAGIN, J.; LOWENGART, A. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. **Fertilizer Research**, vol. 43, p. 5–7, 1996. DOI 10.1007/BF00747675. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/BF00747675>. Accessed on: 18 Jun. 2022.

HAHN, L.; SUZUKI, A.; FELTRIM, A. L.; WAMSER, A. F.; MUELLER, S.; VALMORBIDA, J. Aplicação de formulações de cálcio e boro na cultura do tomateiro tutorado. **Agropecuária Catarinense**, vol. 30, no. 3, p. 61–66, 2017. .

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3rd ed. São Paulo: IMESP, 1985. vol. 1, p. 25–26.

KADER, A. A.; MORRIS, L. L.; STEVENS, M. A.; ALBRIGHT-HOLTON, M. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, vol. 103, no. 1, p. 6–13, 1978. .

KE, J.; XING, X.; LI, G.; DING, Y.; DOU, F.; WANG, S.; LIU, Z.; TANG, S.; DING, C.; CHEN, L. Effects of different controlled-release nitrogen fertilisers on ammonia volatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice. **Field Crops Research**, vol. 205, p. 147–156, 1 Apr. 2017. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2016.12.027>. Accessed on: 17 May 2022.

KOONER, K. S.; RANDHAWA, K. S. Effect of varying levels and sources of nitrogen on yield and processing qualities of tomato varieties. **Acta Horticulturae**, 1990, vol. 267, no. RESEARCH, 1990. .

LIU, G.; ZOTARELLI, L.; LI, Y.; DINKINS, D.; WANG, Q.; OZORES-HAMPTON, M. Controlled-release and slow-release fertilizers as nutrient management tools. **USA: US Department of Agriculture, UF/IFAS Extension Service, University of Florida, IFAS**, 2014. .

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. [S. l.: s. n.], 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MARSCHNER, P. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3rd ed. [S. l.]: Elsevier Inc., 2011. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>. Accessed on: 28 Jun. 2022.

MARTINS, G. M.; PAULA, M. J. de. **Efeito de organomineral em tomateiro convencional/**. 2020. 26 f. UniEVANGÉLICA, Anápolis, 2020. . Accessed on: 3 Jul. 2022.

MERHAUT, D. J.; BLYTHE, E. K.; NEWMAN, J. P.; ALBANO, J. P. Nutrient release from controlled-release fertilizers in acid substrate in greenhouse environment: I. leachate electrical conductivity, pH, and Nitrogen, Phosphorus, and Potassium concentrations. **HortScience HortSci**, Washington, DC, vol. 41, no. 3, p. 780–787, 2006. DOI 10.21273/HORTSCI.41.3.780. Available at: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/41/3/article-p780.xml>.

MIRANDA, F. R.; MESQUITA, A. L. M.; MARTINS, M. V. v; FERNANDES, C. M. F.; EVANGELISTA, M. I. P.; SOUSA, A. A. P. **Produção de tomate em substrato de fibra de coco**. [S. l.: s. n.], 2011.

NAZ, M. Y.; SULAIMAN, S. A. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of Controlled Release**, vol. 225, p. 109–120, 10 Mar. 2016. <https://doi.org/10.1016/J.JCONREL.2016.01.037>. Accessed on: 18 Jun. 2022.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. Mercado de fertilizantes: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, vol. 16, no. 1, p. 489–498, 2019. .



PÉK, Z.; HELYES, L.; LUGASI, A. Color Changes and Antioxidant Content of Vine and Postharvest-ripened Tomato Fruits. **HortScience**, vol. 45, no. 3, p. 466–468, 1 Mar. 2010. DOI 10.21273/HORTSCI.45.3.466. Available at: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/45/3/article-p466.xml>. Accessed on: 8 Jul. 2022.

REBOUÇAS NETO, M. de O.; AZEVEDO, B. M. de; VIANA, T. V. de A.; DE MESQUITA, J. B. R.; DE CARVALHO, M. A. R.; DE CARVALHO, L. C. C. Potassium fertilization via fertigation and conventional application on quality of tomato fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 20, p. 913–917, 2016. .

RESENDE, J. M.; CHITARRA, M. I. F.; MALUF, R. W.; CHITARRA, B. A.; JÚNIOR, J. S. O. Atividade de enzimas pectinametilesterase e poligalacturonase durante o amadurecimento de tomates do grupo multilocular. **Horticultura Brasileira**, vol. 22, no. 2, p. 206–212, Jun. 2004. DOI 10.1590/S0102-05362004000200009. Available at: <http://www.scielo.br/j/hb/a/Y86VDb9tXcsXmqb5rsjvBcg/abstract/?lang=pt>. Accessed on: 6 Jul. 2022.

ROCHETTE, P.; MACDONALD, J. D.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; GASSER, M.-O.; BERTRAND, N. Banding of Urea Increased Ammonia Volatilization in a Dry Acidic Soil. **Journal of Environmental Quality**, vol. 38, no. 4, p. 1383–1390, Jul. 2009. <https://doi.org/10.2134/JEQ2008.0295>. Accessed on: 9 Jul. 2022.

RODRIGUES, D. S.; PONTES, A. L.; MINAMI, K.; DIAS, C. T. dos S. Quantidade absorvida e concentrações de micronutrientes em tomateiro sob cultivo protegido. **Scientia Agrícola**, vol. 59, p. 137–144, 2002. .

RUDIN, L. Controlled release fertilizers: Recent nursery trials in Sweden©. 2014. **Proceedings of the 2014 Annual Meeting of the International Plant Propagators Society 1085** [...]. [*S. L.: s. n.*], 2014. p. 257–260.

SAKATA. **Características tomate Grazianni**. 2022. Available at: <http://www.sakata.com.br/produtos/hortalicas/solanaceas/tomate%3E>.

SAMPAIO, R. A.; FONTES, P. C. R. Qualidade de frutos de tomateiro fertirrigado com potássio em solo co berto com polietileno preto. **Horticultura Brasileira**, vol. 16, no. 2, p. 136–139, Nov. 1998. DOI 10.1590/S0102-05361998160000200009. Available at: <http://www.scielo.br/j/hb/a/zG6DNQD6wTzCGGN56H5p8xB/?format=html>. Accessed on: 19 May 2022.

SANTOS, H. C. A.; DE LIMA JÚNIOR, J. A.; GURGEL, F. de L.; DE AVIZ, W. L. C.; LIMA, V. M.; BARRAL, D. de S.; DA SILVA, D. P.; SOARES, R. C.; DA SILVA, J. F.; DO NASCIMENTO, J. T. Teor nutricional na folha e no fruto de pimentão fertirrigado, em função de tensões de água no solo e doses de nitrogênio. *In*: RIBEIRO, J. C. (ed.). **Impacto, excelência e produtividade das ciências agrárias no Brasil 3**. Ponta Grossa: Atena, 2020. p. 51–66.

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F.; PIAUILINO, A. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia biosfera**, vol. 8, no. 15, 2012. .

SEEG. **Sistema de estimativa de emissões e remoções de gases de efeito estufa**. 2021. Available at: <http://seeg.eco.br>.

SHAVIV, A.; RABAN, S.; ZAIDEL, E. Modeling controlled nutrient release from a population of polymer coated fertilizers: Statistically based model for diffusion release. **Environmental Science and Technology**, vol. 37, no. 10, p. 2257–2261, 15 May 2003. <https://doi.org/10.1021/ES0205277>. Accessed on: 10 Jul. 2022.

SILVA, N. O.; SILVA, N. A.; SILVA, T. L.; TERCENIANO, R. M.; OLIVEIRA, M. F. M.; FERNANDES, M. E. de S.; FERNANDES, F. L.; DUARTE, P. V. F. Caracterização físico-química e diversidade genética entre acessos de tomateiro. *In*: SOUSA, C. da S.; LIMA, F. de S.; SABIONI, S. C. (eds.). **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável**. 1st ed. Guarujá: Científica Digital, 2021. vol. 5, p. 87–102. DOI 10.37885/210605133. Available at: <http://www.editoracientifica.org/articles/code/210605133>.

SILVEIRA, K. C. **Avaliação agrônômica do tomateiro em resposta à inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas**. Minas Gerais: [s. n.], 2018.

TEI, F.; DE NEVE, S.; DE HAAN, J.; KRISTENSEN, H. L. Nitrogen management of vegetable crops. **Agricultural Water Management**, vol. 240, p. 106316, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106316>. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420302298>.

TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; CASEY, P.; MUSTER, T.; GILL, H.; ADHIKARI, B. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 95, no. 6, p. 1131–1142, Apr. 2015. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>.

TRANI, P. E.; KARIYA, E. A.; HANAI, S. M.; ANBO, R. H.; BASSETTO JÚNIOR, O. B.; PURQUERIO, L. F. V.; TRANI, A. L. Calagem e adubação do tomate de mesa. **Boletim Técnico IAC**, vol. 215, 2015. .

TRENKEL. **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers**. [S. l.: s. n.], 2013. vol. 53, .

TRENKEL, M. E. **Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture**. 2010. Available at: [www.fertilizer.org](http://www.fertilizer.org). Accessed on: 18 Jun. 2022.

VIEIRA FILHO, P. S.; DE OLIVEIRA, G. Q.; BISCARO, G. A.; DE ARAÚJO MOTOMIYA, A. V.; GEISENHOFF, L. O. Fertirrigação com nitrogênio na cultura da rúcula. **Agrarian**, vol. 10, no. 38, p. 304–310, 2017. .

WARNOCK, S. J. A review of taxonomy and phylogeny of the genus *Lycopersicon*. **HortScience**, no. 23, p. 669–673, 1988. .

ZHANG, Q.; SOLIHIN; SAITO, F. Mechanochemical synthesis of slow-release fertilizers through incorporation of alumina composition into potassium/ammonium phosphates. **Journal of the American Ceramic Society**, vol. 92, no. 12, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2009.03291.x>.

ZHOU, R.; YU, X.; OTTOSEN, C. O.; ROSENQVIST, E.; ZHAO, L.; WANG, Y.; YU, W.; ZHAO, T.; WU, Z. Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. **BMC Plant Biology**, vol. 17, no. 1, 25 Jan. 2017. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-0974-x>. Accessed on: 28 Jun. 2022.

ZHU, Q.; ZHANG, M.; MA, Q. Copper-based foliar fertilizer and controlled release urea improved soil chemical properties, plant growth and yield of tomato. **Scientia Horticulturae**, vol. 143, p. 109–114, 2012. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.008>. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423812002695>.