



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



PRÍNSCILLA PÂMELA NUNES CHAVES

**REGULADORES VEGETAIS E MICRONUTRIENTES EM PLANTAS DE
TOMATEIRO**

Botucatu

2020

PRÍNSCILLA PÂMELA NUNES CHAVES

**REGULADORES VEGETAIS E MICRONUTRIENTES EM PLANTAS DE
TOMATEIRO**

Tese de Doutorado, do Programa de Pós-Graduação em Horticultura, apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Agronomia (Horticultura).

Orientadora: Prof^a Dr^a Elizabeth Orika Ono

Botucatu

2020

C512r	<p>Chaves, Príncilla Pâmela Nunes</p> <p>Reguladores vegetais e micronutrientes em plantas de tomateiro / Príncilla Pâmela Nunes Chaves. -- Botucatu, 2020 132 p. : il., tabs.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientadora: Elizabeth Orika Ono</p> <p>1. Micronutrientes. 2. Hormônios. 3. Fisiologia Vegetal. 4. Produção. 5. Pós-colheita. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

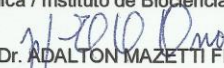

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **REGULADORES VEGETAIS E MICRONUTRIENTES EM PLANTAS DE TOMATEIRO**

AUTORA: PRÍNCILLA PÂMELA NUNES CHAVES

ORIENTADORA: ELIZABETH ORIKA ONO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (HORTICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof.ª Dr.ª ELIZABETH ORIKA ONO
Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP
Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES
Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP
Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES
CERAT / Universidade Estadual Paulista - UNESP
Prof. Dr. FERNANDO FERRARI PUTTI
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia de Tupã
Pesquisadora Dr.ª ANA CLAUDIA MACEDO
Pesquisa e Desenvolvimento / Stoller do Brasil

Botucatu, 26 de março de 2020.

Dedico

*À minha irmã gêmea Priscila Pábula, minha companheira de vida,
a melhor parte de mim!*

Ofereço

*À minha mãe Helena e meu irmão Rângelo por todo apoio,
incentivo e amor!*

AGRADECIMENTOS

À **Deus** pelo dom da vida e da conquista.

À **Nossa Senhora** por me fazer digna da sua intercessão.

À minha mãe **Helena Nunes**, você que foi pai e mãe ao mesmo tempo, obrigada por tudo mãe, pela vida, pela sua entrega, dedicação, apoio e amor. Te amo desde sempre para sempre.

À minha irmã gêmea **Priscila Pábula**, metade do meu coração, a minha melhor amiga. Obrigada pelos seus cuidados, seu colo, sua amizade, pelo seu amor e ajuda mútua tanto financeira como pessoal. Te amo além da vida.

Ao meu irmão **Rângelo Rizzi**, o melhor amigo, o irmão que faz o papel de pai. Obrigada por ser tão presente na minha vida, por me amar, cuidar e pela sua ajuda financeira em busca dos meus sonhos. Amo você.

Aos meus sobrinhos e afilhados **Nicolas Duan** e **Heitor Gabriel**, suas vidas completam a minha existência. Sinto saudades todos os dias. Amo vocês.

As minhas primas, em especial **Edinalva Andrade** pelas sábias palavras nos momentos de desespero e também de alegria, sempre ao meu lado e que assim permaneça, amo você prima.

À tia **Baica** que também é minha mãe, obrigada por ter contribuído na minha formação, sempre ali me ensinando a lição da escola e também da vida. Te amo tia.

À minha eterna avó **Elvira Maria** (*in memoriam*) que também fez papel de mãe. Obrigada vó pelos seus abraços, seu apoio e amor dedicado até seus últimos dias. Te amo eternamente. Essa conquista também lhe pertence!

Ao meu primo **Naldinho** e tia **Nilza** (*in memoriam*), vossa partida chegou cedo e inesperadamente, mas com amor e saudades, eu segui, venci e aqui estou. Amo vocês para sempre.

Aos meus padrinhos de batismo **Leila Lessa** e **Domingos Moura** e de crisma **Luzia Gonçalves** e **José de Oliveira** pelas orações, amor e torcida. Amo vocês.

À minha mãe de Botucatu, aquela que sempre me acolheu, apoiou, amou e que pelas mãos de Nossa Senhora me consagrou. Obrigada **madrinha Laura** pelas suas orações e colo de mãe. Amo você.

As melhores amigas de Botucatu **Dali Desasso, Érika Otani e Marcinha Castro**, vocês me ensinaram que família não nasce somente do sangue, mas também do coração. Obrigada pelas dificuldades superadas em conjunto, pela alegria compartilhada, por me passarem coragem e força nas ocasiões mais difíceis, pelos conselhos e compreensão nos momentos que nem eu mesma me entendia e principalmente pela amizade, que seja eterna enquanto dure e que dure para sempre. Amo vocês.

Aos pequenos **João Pedro Castro Lípolis e Miguel Braga**, por todo carinho recebido, me fazendo sentir que em Botucatu tive amores verdadeiros, de sorriso puro e olhar sincero. Amo vocês.

Ao Grupo de Oração Rainha da Paz pelo acolhimento, em especial as intercessoras **Leda Longo, Maria Souza e Emília Malagode**, pelas sagradas orações em prol da minha saúde, do meu doutorado e da minha caminhada para Deus.

As melhores amigas da Unesp, **Lidiane Colombari e Carla Verônica**, pelo apoio incondicional no desenvolvimento do projeto e análises laboratoriais. Acima de tudo, obrigada pela palavra sábia, o abraço reconfortante, pela irmandade nascida do coração. Com vocês aprendi que SIM há amizade na Pós-Graduação e esse laço foi essencial para que eu pudesse passar por essa fase de forma humanizada. Amo vocês para sempre.

Aos melhores amigos da UNESP, **Renan Cruz e Gustavo Ferreira**. Ao Renan, meu amigo parceiro, que esteve comigo em todas as etapas experimentais, obrigada por ter feito a minha jornada mais leve, de ajuda mútua e amizade eterna. Ao **Gustavo Ferreira**, meu amigo irmão, por toda ajuda e conhecimento transmitido na parte de estatística, que além de sanar as minhas dúvidas nos momentos de incertezas, também soube compreender as minhas lutas e anseios de vida. Obrigada por tudo, amo vocês meus meninos grandes.

E as demais amigas que a UNESP me proporcionou **Letícia Pastore, Eriene Romeiro, Larissa Chamma e Tati Alves**. Obrigada pela amizade, pelos encontros no point do açaí, pelas conversas e risadas, enfim, por fazerem meus dias mais felizes na cidade do Saci e dos bons ares que é Botucatu.

Ao Prof. Dr. **Fernando Ferrari Putti** pela amizade e parcerias nos projetos paralelos a tese. E ao amigo Dr. **Luís Paulo Benetti Mantoan** pelos ensinamentos na parte bioquímica e fisiológica, sempre à disposição das minhas dúvidas. Obrigada.

Ao Claudio Roberto Ribeiro da Silva, o **Claudinho da Florestal**, pelo carisma, generosidade, enfim pelo homem que me inspira como ser humano e profissional. Obrigada pelos ensinamentos e além de toda a sabedoria partilhada, pela amizade conquistada.

À minha orientadora Dra. **Elizabeth Orika Ono** pela pessoa de luz que foi no momento que mais precisei no doutorado. Obrigada pela compreensão, paciência, apoio, orientação, pelo conhecimento transmitido e por toda a estrutura cedida para a condução dos experimentos em campo e laboratório. Professora, minha eterna gratidão.

Aos colegas do grupo de pesquisa, especialmente a Dra. **Ana Claudia Macedo** pelas instruções práticas e teóricas sobre o aparelho IRGA e a sua aplicabilidade na fisiologia vegetal. Ao doutorando **Andrew Kim** pela ajuda nas análises fisiológicas de campo. As doutorandas **Geane Bispo** pela contribuição nas avaliações de produção, sobretudo nas análises enzimáticas e a **Janaína Cruz** pelo treinamento e ensinamento sobre a parte bioquímica e ajuda nas variáveis de produção.

Aos professores da Pós-Graduação em Horticultura – UNESP, pelo conhecimento transmitido, em especial a Dra. **Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno**, Dr. **João Domingos Rodrigues** e Dr. **Roberto Lyra Villas Bôas** sempre disponíveis as minhas dúvidas em prol do meu crescimento acadêmico.

Aos professores membros da banca examinadora Prof. Dr. **Adalton Mazetti Fernandes, João Domingos Rodrigues, Fernando Ferrari Putti** e a Dra. **Ana Claudia Macedo** pela disponibilidade em poder participar e ajudar com os seus conhecimentos no enriquecimento do trabalho.

À escriturária do Departamento de Solos **Adriana**, pela sua eficiência e simpatia, sobretudo, agradeço, pelo carinho e amizade.

As funcionárias da Pós-Graduação, em especial, **Débora Branco** e **Kátia Duarte**, obrigada pela simpatia nos atendimentos e pela ajuda na parte burocrática.

Aos funcionários da Fazenda Experimental de São Manuel, em particular ao **Daniel Papa**, pela dedicação e compromisso perante os alunos da UNESP. Obrigada por toda a ajuda de campo e pela sua amizade.

Aos funcionários do Departamento de Transportes, principalmente, o **Sérgio** e **Heleno** por nos conduzir com responsabilidade e compromisso, nos ouvir com respeito e paciência. Muito obrigada.

Aos **funcionários (as) da limpeza** do Departamento de Horticultura, Botânica e da Fazenda Experimental de São Manuel. Obrigada pela limpeza das salas de aulas, cozinha, corredores, banheiros, biblioteca, jardins, galpões de materiais. Enfim, pelos cafezinhos, o bom dia e boa tarde de todos os dias, por zelar por mim, pelos demais alunos e de toda a instituição.

Aos funcionários (as) da parte administrativa do Instituto de Biociências – Botânica, especialmente **Inara Regiane** e **Heloíza Cassola** e ao pessoal das unidades auxiliares, em particular as meninas do Centro de Isótopos Estáveis, **Mariana**, **Cibele** e **Nádia** pela dedicação e compromisso, que fazem mais rendoso o nosso trabalho.

Aos **funcionários (as) da biblioteca** pela contribuição na parte didática e bibliográfica, em especial Maísa França.

À toda **Faculdade de Ciências Agrônômicas** – UNESP e demais funcionários da instituição.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – **CNPq** pela concessão da bolsa de doutorado.

E a **todos** que contribuíram para esta vitória. **Muito obrigada!!!**

“Confia ao Senhor as tuas obras e os teus planos serão estabelecidos.” (Provérbios 16.3)

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos fisiológicos, bioquímicos e produtivos em plantas de tomateiro, além dos atributos de qualidade de frutos com a aplicação foliar da mistura de micronutrientes e reguladores vegetais em diferentes doses e períodos de desenvolvimento da cultura em condições de cultivo protegido. Para isso foram instalados dois experimentos independentes, em delineamento de blocos ao acaso com oito tratamentos e três repetições. O material genético utilizado foi o híbrido Santy e os tratamentos utilizados foram: T1- Controle; T2 - IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹; T3 (Co + Mo - 0,5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T4 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T5 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T6 (Co + Mo - 0,5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T7 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹) e T8 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹). As aplicações dos tratamentos 3, 4 e 5 iniciaram-se no florescimento e cessaram na primeira colheita dos frutos, enquanto os tratamentos 2, 6, 7 e 8 as aplicações tiveram início no florescimento e transcorreram até a última colheita, com intervalos de 14 dias entre as aplicações. No capítulo 1 foram determinadas atividade enzimática antioxidativa, peroxidação lipídica, peróxido de hidrogênio, medidas de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e parâmetros de produtividade: produção total, comercial e não comercial, massa média de frutos comerciais, número de frutos totais, comercial e não comercial e o percentual de ganhos e perdas em produção. No capítulo 2 foram quantificados os teores de sólidos solúveis, pH, acidez titulável, índice de maturação, perda de massa e carboidratos. Nos dois experimentos, a enzima superóxido dismutase, o teor de peróxido de hidrogênio, concentração interna de CO₂ e a taxa aparente de transporte de elétrons foram as variáveis de maior influência na produtividade. As plantas tratadas apenas com os reguladores vegetais pulverizados seis vezes durante o ciclo da cultura (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹) e com a mistura desses compostos com a maior dose dos micronutrientes com três aplicações [(Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹)] foram os tratamentos que apresentaram as melhores respostas produtivas nos dois anos de cultivo. O tratamento com a combinação de Co + Mo na dose de 2 L ha⁻¹ com IBA + GA₃ + Kt na dosagem de 0,5 L ha⁻¹ com três pulverizações apresentou menor índice de maturação e perda de massa durante o armazenamento dos frutos nos dois experimentos.

Palavras chaves: *Solanum lycopersicum* L. Técnicas de manejo. Bioquímica. Fisiologia vegetal. Produtividade. Pós-colheita.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the physiological, biochemical and productive effects on tomato crop. Moreover, it was study fruit quality attributes with the foliar application of the mixture of micronutrients and crop regulators in different doses and periods of development under protected conditions. . For this, two independent experiments were installed, in a randomized block design with eight treatments and three replications. The genetic material used was the hybrid Santy and the treatments used were: T1- Control; T2 - IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹; T3 (Co + Mo - 0.5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T4 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T5 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T6 (Co + Mo - 0.5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T7 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹) and T8 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹). In treatments 3, 4 and 5, the applications started at flowering and stopped at the first harvest of fruits, while treatments 2, 6, 7 and 8 the applications started at flowering and it gone until the last harvest, with intervals of 14 days between applications. In the first chapter, they were determined antioxidative enzyme activity, lipid peroxidation, hydrogen peroxide, gas exchange measures, chlorophyll fluorescence and productivity parameters, total, commercial and non-commercial production, average mass of commercial fruits, number of total fruits, commercial and non-commercial and the percentage of gains and losses in production. In the second chapter, they were quantified the contents of soluble solids, pH, titratable acidity, maturation index, weight loss and carbohydrates were quantified. In both experiments, the superoxide dismutase enzyme e, the hydrogen peroxide content, internal CO₂ concentration and the apparent electron transport rate were the variables with the greatest influence on productivity. Plants treated only with crop regulators sprayed six times during the crop cycle (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹) and with the mixture of these compounds with the highest dose of micronutrients with three applications [(Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹)] were the treatments that showed the best productive responses in the two years of cultivation. The treatment with combination of Co + Mo in dose of 2 L ha⁻¹, IBA + GA₃ + Kt in dose of 0,5 L ha⁻¹, sprayed three times showed a lower rate of maturation and loss of mass during storage of fruits in both experiments.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L. Management techniques. Biochemistry. Plant physiology. Post-harvest.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	19
CAPÍTULO 1 - DESEMPENHO PRODUTIVO DE TOMATEIRO TRATADO COM MICRONUTRIENTES E REGULADORES VEGETAIS E SUAS CORRELAÇÕES COM A FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA DA PLANTA	22
1.1 Introdução.....	23
1.2 Material e métodos.....	25
1.2.1 Localização dos experimentos.....	25
1.2.2 Instalação e condução dos experimentos.....	25
1.2.3 Descrição dos tratamentos.....	27
1.2.4 Características avaliadas.....	28
1.2.4.1 Componentes fisiológicos.....	28
1.2.4.1.1 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	28
1.2.4.1.2 Trocas gasosas.....	29
1.2.4.2 Análises bioquímicas.....	30
1.2.4.2.1 Metabolismo oxidativo.....	30
1.2.4.2.2 Enzimas antioxidativas.....	31
1.2.4.3 Variáveis de produção.....	33
1.2.5 Análise estatística.....	34
1.3 Resultados e discussão.....	35
1.3.1 Metabolismo oxidativo e enzimático.....	35
1.3.1.1 Experimento I.....	35
1.3.1.2 Experimento II.....	41
1.3.2 Parâmetros fisiológicos.....	53
1.3.2.1 Experimento I.....	53
1.3.2.2 Experimento II.....	58
1.3.3 Variáveis de produção.....	69
1.3.3.1 Experimento I.....	69
1.3.3.2 Experimento II.....	72
1.3.4 Análise multivariada.....	75

1.3.4.1	Enzimas antioxidantes.....	75
1.3.4.1.1	Experimento I.....	75
1.3.4.1.2	Experimento II.....	80
1.3.4.2	Análise fisiológicas.....	86
1.3.4.2.1	Experimento I.....	86
1.3.4.2.2	Experimento II.....	88
1.4	Conclusão.....	93
	REFERÊNCIAS.....	94
	CAPÍTULO 2 - REGULADORES VEGETAIS E MICRONUTRIENTES NA QUALIDADE DE FRUTOS DE TOMATEIRO EM DOIS ANOS DE CULTIVO.....	98
2.1	Introdução.....	99
2.2	Material e métodos.....	101
2.2.1	Descrição experimental.....	101
2.2.2	Atributos de qualidade do fruto.....	103
2.2.3	Teores de açúcares nos frutos.....	104
2.2.4	Análise estatística.....	107
2.3	Resultados e discussão.....	107
2.3.1	Teores de açúcares nos frutos.....	107
2.3.1.1	Experimento I.....	107
2.3.1.2	Experimento II.....	109
2.3.2	Caracterização físico-química.....	110
2.3.2.1	Experimento I.....	110
2.3.2.2	Experimento II.....	117
2.4	Conclusão.....	124
	REFERÊNCIAS.....	125
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	128
	REFERÊNCIAS.....	131

INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro (*Lycopersicon esculentum* L.), espécie originária da América do Sul, é uma das hortaliças mais cultivadas no mundo, sendo produzida em diferentes latitudes geográficas em sistemas de cultivo ao ar livre ou sob proteção, com ou sem solo e sob diferentes níveis tecnológicos e de manejo cultural (MELO; MELO, 2014).

Botanicamente, o tomateiro é uma planta perene, podendo se comportar como anual, de porte arbustivo, podendo se desenvolver de forma rasteira, semi-ereta ou ereta, de acordo com as podas e conduções (FILGUEIRA, 2008; ALVARENGA, 2013). No segmento de mesa, o formato e o tamanho dos frutos definem os tipos varietais, sendo aceitos cinco segmentos principais, que são: Santa Cruz, Salada, Caqui, Italiano e Cereja (NASCIMENTO, 2011).

No processo de amadurecimento do fruto de tomateiro ocorrem uma série de alterações metabólicas. Os atributos de qualidade como cor, firmeza, teor de sólidos solúveis, acidez titulável, pH e o estágio de maturação são importantes quanto à comercialização do fruto. Estes, juntamente com o tamanho, forma e aparência externa do fruto influenciam a escolha do consumidor (FERREIRA et al., 2010).

Devido à diversidade de uso e os tipos varietais, é de suma importância o conhecimento sobre a cultura para um manejo adequado quanto as condições climáticas, exigências nutricionais, épocas, local e sistemas de cultivo. À vista disso, a cultura está localizada, principalmente, nas regiões tropicais, subtropicais, mediterrânicas e temperadas. Em termos de produção mundial, no ano de 2017 foi produzido 170,8 milhões de toneladas. Nesse cenário a China configura como o maior produtor de tomate para o consumo *in natura*, com cerca de 31% de toda a produção, seguida pela Índia (10%) e Estados Unidos (7%) e em nono lugar o Brasil representando 4,3% da produção mundial (FAOSTAT, 2017). Os maiores produtores brasileiros para esse segmento são os estados do Goiás com 32,4% da produção nacional, São Paulo com 21,1%, Minas Gerais com 16,7%, Bahia com 4,5% e Santa Catarina com 4,4% (IBGE, 2018).

Os aspectos produtivos do tomateiro e de qualidade do fruto são dependentes do conjunto de vários fatores, dentre os quais os hormônios vegetais, que desempenham papel importante no metabolismo da planta. Os hormônios vegetais são compostos orgânicos naturais existentes em pequenas quantidades nas plantas que são capazes de inibir ou modificar processos morfológicos e fisiológicos nos

vegetais, atuando como mensageiros químicos, de forma que suas ações coordenam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (RAVEN et al., 2001; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Como forma sintética dos hormônios vegetais, temos os reguladores vegetais, substâncias que possuem efeito sobre o metabolismo vegetal (LAMAS, 2001), agindo de forma similar aos hormônios vegetais. Dentre os principais hormônios destacam-se as auxinas, giberelinas e citocininas. As auxinas são eficientes na promoção do enraizamento, cujo principal efeito está direcionado à sua ação no início dos primórdios radiculares (ALMEIDA; RODRIGUES, 2016). Possuem também ações no crescimento da célula, agindo diretamente na plasticidade da parede celular e estimulando o alongamento celular irreversível (RODRIGUES et al., 2015). Já as giberelinas estão associadas a regulação do crescimento, alongamento e divisão celular, mobilização de reservas, floração e desenvolvimento de frutos (DAVIES; SPONSEL, 2013). A participação das citocininas nos processos fisiológicos incluem atraso na senescência foliar, mobilização de nutrientes, dominância apical, formação e atividade dos meristemas apicais, desenvolvimento floral, germinação de sementes e superação da dormência de gemas (ALMEIDA; RODRIGUES, 2016).

No Brasil o produto comercial Stimulate® é registrado como regulador de crescimento de plantas com a mistura de reguladores vegetais e traços de sais minerais quelatizados, composto por ácido indolilbutírico (IBA, auxina) a 0,005%, cinetina (Kt, citocinina) a 0,009% e ácido giberélico (GA₃, giberelina) a 0,005% (COBUCCI, 2008) e é eficaz quando aplicado com fertilizantes foliares, sendo também compatível com defensivos (CATO, 2006).

Além dos hormônios vegetais, os micronutrientes são elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, que são requeridos em quantidades menores, quando comparados com os macronutrientes (ALMEIDA; GUIMARÃES, 2017). Dentre estes o cobalto é considerado um elemento benéfico às plantas, entretanto, a compreensão de seu papel nas reações enzimáticas ainda é escassa. Pesquisas recentes mostraram que o cobalto é um componente de várias enzimas e coenzimas que podem afetar o crescimento e o metabolismo das plantas (IPNI, 2018). Outros estudos relacionados à esse micronutriente refere-se a sua eficiência como inibidor da rota da síntese de etileno (TAIZ; ZEIGER, 2013). O molibdênio é um micronutriente associado há vários processos fisiológicos e bioquímicos das plantas.

Sobre isso, Schwarz (2016) relata que é um elemento cofator importante à atividade das enzimas oxidase do sulfeto, xantoxina desidrogenase e aldeído oxidase. Sfredo e Oliveira (2010) enfatizam ainda a importância deste micronutriente no transporte de elétrons durante as reações bioquímicas.

Existem no mercado diversos produtos comerciais que contêm molibdênio e cobalto em concentrações variáveis, assim, o Hold® é um fertilizante foliar composto por cobalto (2%) e molibdênio (3%) e tem como alvo a redução da síntese de etileno, hormônio vegetal que causa a senescência nas diversas culturas.

O tomateiro é classificado como planta muito sensível as intempéries do meio, fatores que levam à formação de espécies reativas de oxigênio (ERO). As plantas, no entanto, possuem um complexo sistema antioxidativo, que pode ser de natureza enzimática ou não enzimática, mas que operam em conjunto, tentando manter o estado redox celular e eliminando o excesso de ERO (MUCHATE et al., 2016; VIGHI et al., 2017). Nesse caso, os principais antioxidantes enzimáticos são formados pelas enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT), dentre outras enzimas (YOU; CHAN, 2015; PARIDA et al., 2016).

Dessa forma, as trocas gasosas em conjunto com a medição da fluorescência da clorofila *a* em folhas tem sido uma técnica bastante útil para a detecção das respostas das plantas à natureza interativa dos diversos estresses ambientais que ocorrem em ecossistemas tropicais (de MATTOS, 1998). Somado à isso, o uso de micronutrientes foliares associados aos reguladores vegetais é uma prática de manejo que pode minimizar os efeitos deletérios ao qual o tomateiro está exposto, seja no campo, no ambiente protegido ou em condições de armazenamento do fruto.

Contudo, apesar da imensurável contribuição dos micronutrientes foliares associados aos reguladores vegetais na agricultura, a tecnologia ainda é questionável, visto que a sua eficiência depende de um conjunto de fatores que ainda não estão totalmente elucidados quanto à resposta no metabolismo vegetal. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos fisiológicos, bioquímicos, produtivos em plantas de tomateiro, além dos atributos de qualidade de frutos com aplicação foliar da mistura de cobalto e molibdênio combinado com a mistura de auxina, giberelina e citocinina em diferentes doses e períodos de desenvolvimento do tomateiro em condições de cultivo protegido.

CAPÍTULO 1
DESEMPENHO PRODUTIVO DE TOMATEIRO TRATADO COM
MICRONUTRIENTES E REGULADORES VEGETAIS E SUAS CORRELAÇÕES
COM A FISIOLOGIA E BIOQUÍMICA DA PLANTA

RESUMO

O capítulo teve como objetivo avaliar o desempenho agrônômico do híbrido Santy quanto aos parâmetros fisiológicos e bioquímicos com incremento na produtividade por meio da aplicação foliar da mistura de auxina, giberelina e citocinina isolada e combinada com cobalto e molibdênio em diferentes doses e períodos de desenvolvimento do tomateiro cultivado em ambiente protegido. Para isso, foram instalados dois experimentos em diferentes épocas em delineamento de blocos ao acaso, com oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos utilizados foram: T1- Controle; T2 - IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹; T3 (Co + Mo - 0,5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T4 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T5 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T6 (Co + Mo - 0,5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T7 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹) e T8 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹). As aplicações dos tratamentos 3, 4 e 5 iniciaram-se no florescimento e cessaram na primeira colheita dos frutos, enquanto os tratamentos 2, 6, 7 e 8 as aplicações tiveram início no florescimento e transcorreram até a última colheita, com intervalos de 14 dias entre as aplicações. Foram realizadas medidas de trocas gasosas, fluorescência da clorofila a, quantificação enzimática do sistema antioxidante, além de parâmetros de produtividade: produção total, comercial e não comercial, massa média de frutos comerciais, número de frutos totais, comercial e não comercial e o percentual de ganhos e perdas em produção. Para os dois experimentos a enzima superóxido dismutase e o teor de peróxido de hidrogênio foram as variáveis bioquímicas de maior influência na produtividade, já fisiologicamente foi a concentração interna de CO₂ e a taxa aparente de transporte de elétrons. Em ambos os experimentos, os tratamentos constituídos da mistura de IBA + GA₃ + Kt na dose de 0,5 L ha⁻¹ com seis aplicações e de Co + Mo na dose de 2 L ha⁻¹ combinado com 0,5 L ha⁻¹ de IBA + GA₃ + Kt pulverizado três vezes durante o ciclo da cultura apresentaram maior rendimento produtivo nos dois anos de cultivo.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L. Cultivo protegido. Sistema enzimático. Metabolismo oxidativo. Fotossíntese. Produção.

ABSTRACT

The aimed of this research was to evaluate the agronomic performance of the Santy hybrid in terms of physiological and biochemical parameters with increased productivity through the foliar application of the mixture of auxin, gibberellin and cytokinin alone and combined with cobalt and molybdenum in different doses and development periods of the tomato grown in a protected environment. Two experiments were installed at different times in a randomized block design, with eight treatments and three replications. The treatments used were: T1- Control; T2 - IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹; T3 (Co + Mo - 0.5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T4 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T5 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T6 (Co + Mo - 0.5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T7 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹) and T8 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹). The applications of treatments 3, 4 and 5 were from flowering until first harvest of fruits, while treatments 2, 6, 7 and 8 the applications started were from flowering until the last harvest, with intervals of 14 days between applications. Measurements of gas exchange, chlorophyll a fluorescence, enzymatic quantification of the antioxidant system were carried out, as well as productivity parameters: total production, commercial and non-commercial, average mass of commercial fruits, number of total fruits, commercial and non-commercial and the percentage gains and losses in production. For the two experiments, the superoxide dismutase enzyme and the hydrogen peroxide content were the biochemical variables with the greatest influence on productivity, while physiologically, it was the internal CO₂ concentration and the apparent electron transport rate. In both experiments, treatments consisting in a mixture of IBA + GA₃ + Kt at a dose of 0.5 L ha⁻¹ and six applications and Co + Mo at a dose of 2 L ha⁻¹ combined with 0.5 L ha⁻¹ of IBA + GA₃ + Kt sprayed three times during the crop cycle showed higher yield in the two years of cultivation.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L. Protected cultivation. Enzymatic system. Oxidative metabolism. Photosynthesis. Production.

1.1 INTRODUÇÃO

No cenário agrícola mundial, o tomateiro configura como uma das olerícolas mais produzidas e consumidas, por possuir excelentes compostos para a saúde humana, como vitamina C e licopeno (YA-DAN et al., 2017).

Em termos de produção, o Brasil encontra-se na nona posição, com 2,5% da produção mundial, sendo plantados anualmente aproximadamente 64,4 mil hectares

de tomateiros (IBGE, 2019). No segmento de mesa, o estado do Goiás é o maior produtor brasileiro, sendo responsável por 36,6% do total nacional. Dentre outros produtores importantes, destacam-se São Paulo com 858,0 mil toneladas (19,8%), Minas Gerais (12,6%), Bahia (6,4%), Santa Catarina (4,3%), Espírito Santo (3,9%), Rio de Janeiro (3,8%), Paraná (3,4%), Ceará (3,0%) e Rio Grande do Sul (2,9%) (IBGE, 2019).

Na busca por maior eficiência produtiva, o ambiente protegido tem sido amplamente difundido por permitir maior controle das condições climáticas de cultivo, que junto com a aplicação de reguladores vegetais contribui positivamente nos processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos durante o ciclo de vida da planta. Nesse contexto, as auxinas são eficientes na promoção do enraizamento, cujo principal efeito está direcionado à sua ação no início dos primórdios radiculares (ALMEIDA; RODRIGUES, 2016). Possuem também ações no crescimento da célula, agindo diretamente na plasticidade da parede celular e estimulando o alongamento celular irreversível (RODRIGUES et al., 2015). Já as giberelinas estão associadas a regulação do crescimento, alongamento e divisão celular, mobilização de reservas, floração e desenvolvimento de frutos (DAVIES; SPONSEL, 2013). A participação das citocininas nos processos fisiológicos incluem atraso na senescência foliar, mobilização de nutrientes, dominância apical, formação e atividade dos meristemas apicais, desenvolvimento floral, germinação de sementes e superação da dormência de gemas (ALMEIDA; RODRIGUES, 2016).

Os micronutrientes também são elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, no entanto, são requeridos em quantidades menores, quando comparados com os macronutrientes (ALMEIDA; GUIMARÃES, 2017). Existem no mercado diversos produtos comerciais compostos pela mistura de micronutrientes, dentre os quais destacam-se o molibdênio e cobalto (ANJOS et al., 2017), com funções específicas no metabolismo vegetal.

O cobalto é um elemento benéfico às plantas, entretanto, a compreensão de seu papel nas reações fisiológicas e enzimáticas ainda são escassas. Pesquisas recentes mostraram que o cobalto é um componente de várias enzimas e coenzimas que podem afetar o crescimento e o metabolismo das plantas (IPNI, 2018). Outros estudos relacionados à esse micronutriente refere-se a sua eficiência como inibidor da rota da síntese de etileno (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O molibdênio é um micronutriente associado há vários processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. Sobre isso, Schwarz (2016) relata que é um elemento cofator importante à atividade das enzimas oxidase do sulfeto, xantoxina desidrogenase e aldeído oxidase. Sfredo e Oliveira (2010) enfatizam ainda a importância deste micronutriente no transporte de elétrons durante as reações bioquímicas.

Os vegetais em condições adversas de cultivo apresentam uma série de respostas distintas, que vão desde alterações nas relações das trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e na atividade das enzimas do sistema de defesa das plantas (CAMPELO et al., 2015; COSTA et al., 2015). Sobre os danos oxidativos, a linha de defesa antioxidante enzimática é composta, principalmente, pelas enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX), que tem a capacidade de quebrar e remover os radicais livres das células, promovendo a desintoxicação das espécies reativas de oxigênio (SAISANTHOSH et al., 2018).

Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agrônomo do híbrido Santy quanto aos parâmetros fisiológicos e bioquímicos com incremento na produtividade por meio da aplicação foliar da mistura de auxina, giberelina e citocinina isolada e combinada com cobalto e molibdênio em diferentes doses e períodos de desenvolvimento do tomateiro cultivado em ambiente protegido.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Localização dos experimentos

Foram conduzidos dois experimentos em cultivo protegido em 2016 e em 2017, na fazenda experimental pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu, localizada no município de São Manuel – SP. A região está localizada sob as coordenadas de em 22° 44' S de latitude e 47° 34' W de longitude, com altitude média de 750 m. O clima da região, segundo Peel et al. (2007), é do tipo mesotérmico subtropical úmido com estiagem na época de inverno.

1.2.2 Instalação e condução dos experimentos

O experimento I foi conduzido no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2017 em estufa de 50 metros de comprimento, 14 de largura e 4 metros de altura. Enquanto o experimento II foi conduzido entre os meses de setembro a dezembro de 2017, em estufa com dimensões de 30 metros de comprimento, 7 de largura e 3 metros de altura.

O delineamento para o experimento I e II foram de blocos ao acaso, com oito tratamentos e três repetições. No experimento I, cada parcela foi constituída por oito plantas, das quais quatro foram consideradas como plantas úteis, enquanto no experimento II a parcela foi composta por seis plantas, tendo as três centrais como plantas úteis.

Previamente à instalação dos experimentos foram realizadas amostragens do solo na camada de 0,0 a 0,2 m, para posterior correção do solo e adubação de plantio (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise química do solo da Fazenda Experimental de São Manuel no ano agrícola de 2016 para o experimento I e 2017 para experimento II. São Manuel, SP.

EXP	pH	M.O	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmolc/dm ³ -----						
I	4,9	8	87	15	3,7	23	7	33	48	69
II	5,4	20	79	18	5,3	32	9	46	65	72
EXP	Micronutrientes									
	B	Cu	Fe				Mn	Zn		
	----mg/dm ³ ----									
I	0,1	3,2	18				6,2	3,6		
II	0,4	2,6	62				4,8	5,0		

O material genético utilizado foi o híbrido Santy da Sakata Seed Sudamérica, de crescimento indeterminado, com espaçamento indicado de 1,2 m entre linhas e 0,7 m entre plantas. Esse híbrido se destaca no mercado pela sua resistência ao geminivírus, vira-cabeça e as raças 1, 2, 3 e 4 de nematoides.

Nos dois experimentos, a semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido de 128 células, contendo substrato comercial Carolina Soil® II composto de turfa de esfagno, vermiculita expandida, resíduo orgânico agroindustrial classe A, calcário dolomítico, gesso agrícola e traços de fertilizantes NPK, pH 5,5 ± 0,5, CE 0,4 ± 0,3 mScm⁻¹ e densidade de 155 kg m⁻³.

O transplante das mudas ocorreu, aproximadamente, um mês após a semeadura, em espaçamento de 1,2 m x 0,7 m (Experimento I) e 1,2 x 0,5

(Experimento II), entre e dentro das fileiras, numa densidade de 11905 e 16666 plantas ha⁻¹, respectivamente. O cultivo das plantas foi em sistema tutorado com bambu e conduzidas verticalmente com uma haste. No experimento I as plantas foram conduzidas em canteiros sem proteção, já no experimento II sobre canteiros cobertos por *mulching* de cor branca, objetivando a retenção de água no solo e impedimento de plantas invasoras.

O sistema de irrigação utilizado para os dois experimentos foi por gotejamento, com fita flexível e vazão de 1,6 L h⁻¹ com emissores espaçados de 0,2 m. As aplicações de fertilizantes foram feitas via água de irrigação por meio da técnica de fertirrigação semanal, com auxílio de um injetor tipo venturi, conforme a fase e a necessidade da cultura, assim como os demais tratamentos culturais. A poda apical foi feita, mantendo-se seis cachos e em cada planta despontada foram deixadas três folhas acima do sexto cacho.

1.2.3 Descrição dos tratamentos

Os tratamentos foram compostos pela mistura de micronutrientes foliares e reguladores vegetais, assim como pelas respectivas doses, épocas e número de aplicações (Tabela 2). Como fonte da mistura de reguladores vegetais foi utilizado o produto comercial Stimulate[®], composto pela combinação de Citocinina= cinetina= Kt a 90 mg L⁻¹; Auxina= ácido indolilbutírico= IBA a 50 mg L⁻¹ e Giberelina= GA₃ a 50 mg L⁻¹. Como fertilizante foliar foi utilizado o produto comercial Hold[®], que tem em sua composição 2% de cobalto (Co) e 3% de molibdênio (Mo).

Para o preparo da calda foi realizada a acidificação da água, objetivando manter o pH final da mistura entre 4,0 e 5,0, com o uso de ácido fosfórico, sendo utilizado para esse fim o produto comercial P51[®] (1% de nitrogênio e 51% de ácido fosfórico). As aplicações dos tratamentos foram realizadas via foliar, com o uso de pulverizador manual de CO₂ pressurizado com pressão constante de 0,3 kgf cm⁻² e vazão de 0,2 L min⁻¹, com bicos tipo cônicos cheio.

Durante as aplicações foi necessário o uso de cortina plástica para evitar e/ou diminuir a porcentagem de deriva entre os tratamentos. Foi adicionado ainda óleo vegetal emulsionável (Natur'L Óleo[®]) como espalhante adesivo para reduzir evaporação da calda durante e após as aplicações e reduzir tensão superficial,

facilitando desta forma a absorção dos produtos. Em ambos os experimentos as aplicações foram realizadas em intervalos de 14 dias.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos aplicados no tomateiro conduzido em dois anos de cultivo. Experimento I (2016) e experimento II (2017). São Manuel, SP.

Micronutrientes + Reguladores	Doses	Épocas de Aplicação	Número de Aplicações
T1 – Controle	-	-	-
T2 - IBA + GA ₃ + Kt	0,5 L ha ⁻¹	Início da florada até a última colheita [30-105 DAT] (I) [24-100 DAT] (II)	6
T3 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	0,5 + 0,5 L ha ⁻¹	Início da florada até a primeira colheita	3
T4 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	1 + 0,5 L ha ⁻¹	[30-75 DAT] (I)	
T5 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	2 + 0,5 L ha ⁻¹	[24-70 DAT] (II)	
T6 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	0,5 + 0,5 L ha ⁻¹	Início da florada até a última colheita	6
T7 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	1 + 0,5 L ha ⁻¹	[30-105 DAT] (I)	
T8 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	2 + 0,5 L ha ⁻¹	[24-100 DAT] (II)	

IBA= ácido indolilbutírico (auxina); Kt= cinetina (citocinina); GA₃= ácido giberélico (giberelina); Co= cobalto; Mo= molibdênio; DAT= dias após o transplante.

1.2.4 Características avaliadas

1.2.4.1 Componentes fisiológicos

1.2.4.1.1 Fluorescência da clorofila a

As avaliações de fluorescência da clorofila a para o experimento I ocorreram aos 53 e 68 dias após o transplante (DAT), enquanto no experimento II aos 50, 62, 80 e 91 DAT. As avaliações foram realizadas sempre na mesma planta, com a leitura na 3ª folha totalmente expandida, entre 09:00 e 11h30 min, por meio de fluorômetro acoplado ao LI-6400, pelo método de pulso saturado (MAXWELL; JOHNSON, 2000), utilizando a nomenclatura recomendada por Baker e Rosenqvist (2004).

Na presença de luz artificial foi medida a fluorescência máxima (Fm'), a fluorescência no estado de equilíbrio dinâmico (F) e a fluorescência mínima ($F0'$), permitindo-se calcular os seguintes critérios (BAKER, 2008): eficiência quântica potencial do fotossistema II (PSII) (Fv/Fm): representando o rendimento quântico da fase fotoquímica da fotossíntese; eficiência quântica do complexo antena (Fv'/Fm'): representando a eficiência de captura da excitação pelos centros de reação abertos

do PSII; coeficiente de extinção fotoquímico (qP): refletindo o metabolismo fotossintético do carbono; coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP): representando todas as outras formas de dissipação de energia, principalmente, calor e taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), de acordo com Schreiber et al. (1998). Para o cálculo de ETR , a fração de excitação de energia distribuída para o PSII foi considerada 0,5 e a fração de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) absorvida pela folha, 0,84 (BJÖRKMAN; DEMMIG, 1987).

Antes das avaliações de fluorescência, em cada folha avaliada foi colocado papel alumínio por aproximadamente 20 minutos, objetivando manter a folha no escuro para que ocorresse a oxidação de todo o sistema de transporte fotossintético de elétrons.

1.2.4.1.2 Trocas gasosas

As análises de trocas gasosas ocorreram na mesma folha e dias que foram realizadas as medidas de fluorescência da clorofila a, com auxílio do equipamento com sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO_2 e vapor d'água por radiação infravermelha ("*Infra Red Gas Analyser* – IRGA", modelo LI-6400, LI-COR). Para melhor confiança nos resultados, foi fixado a partir de curva de luz uma PAR (Radiação fotossinteticamente ativa) de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As medidas foram calculadas a partir da diferença entre a concentração de CO_2 e vapor d'água do ar de referência (valor presente na câmara sem a folha) e da amostra (valor com a folha presente na câmara), obtendo-se as concentrações de vapor d'água e CO_2 que são liberados (transpiração – vapor d'água) e assimilados (assimilação de CO_2) por meio dos estômatos das folhas.

As características de trocas gasosas avaliadas foram: taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol vapor d'água m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 na folha (C_i , $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}\text{ar}$). Essas variáveis foram calculadas pelo programa de análise de dados do equipamento medidor de trocas gasosas, que utiliza a equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer e Farquhar (1981).

A eficiência do uso da água (EUA , $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O}^{-1})$) foi estimada a partir dos dados de trocas gasosas pela razão entre taxa de assimilação de CO_2 e a taxa

de transpiração (A/E). Pelos dados obtidos do aparelho foi determinada ainda a eficiência de carboxilação da enzima ribulose 1, 5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), pela relação entre a taxa de assimilação de CO_2 e a concentração interna de CO_2 nas folhas.

1.2.4.2 Análises bioquímicas

1.2.4.2.1 Metabolismo oxidativo

As coletas foliares para peroxidação lipídica e peróxido de hidrogênio no experimento I ocorreram aos 45, 60, 75 e 90 dias após o transplante (DAT). No experimento II as coletas foram realizadas aos 3 e 7 dias após aplicação dos tratamentos (DAA) correspondente aos 27, 41, 55 e 69 DAT (3 DAA) e aos 34, 48, 62 e 76 DAT (7 DAA). Para o procedimento foram coletadas a terceira folha totalmente expandida, a partir do ápice da planta entre 9:00 e 10:00 h da manhã, em seguida as folhas foram colocadas em sacos plásticos e embrulhadas em papel alumínio. Após isso, foram congeladas em nitrogênio líquido, a fim de paralisar todas as reações e imediatamente levadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal, situado no Departamento de Botânica do Instituto de Biociências – UNESP/Botucatu e mantidas em ultrafreezer a -80°C .

A peroxidação de lipídios foi determinada de acordo com a técnica citada por Rama Devi e Prasad (1998). Foram utilizadas 300 mg de folhas frescas de tomate congeladas, as quais foram colocadas em almofariz e trituradas em nitrogênio líquido. Em seguida, homogeneizou-se o material vegetal em 5 mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25% e ácido tricloroacético (TCA) 10%. A solução extraída foi incubada em banho-maria a 90°C por 60 minutos. Após o resfriamento, a solução foi centrifugada a 10000 rpm por 15 minutos, à temperatura ambiente (25°C). Em seguida, o sobrenadante coletado de cada amostra foi submetido a leituras de absorvância em espectrofotômetro à 560 e 600 nm. Para os cálculos utilizou-se o coeficiente de extinção molar do malondialdeído ($155 \text{ mmol L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) e os resultados foram expressos em nmol de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) g^{-1} de matéria fresca.

O conteúdo de peróxido de hidrogênio foi determinado por meio da reação de iodeto de potássio (KI) de acordo com Alexieva et al. (2001). Para a extração, 200 mg de tecido vegetal fresco foram macerados em nitrogênio líquido e

homogeneizados em 2 mL de ácido tricloroacético (TCA). Em seguida, as amostras foram agitadas em vórtex e centrifugadas a 12000 rpm por 15 minutos a 4°C. Para o sistema de reação adicionou-se em tubos de ensaio 0,5 mL de extrato, 0,5 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 7,0) e 2,0 mL de iodeto de potássio a 1M. Posteriormente, o meio de reação foi incubado no escuro por 1 hora e a determinação do conteúdo de H₂O₂ ocorreu em espectrofotômetro por meio da leitura de absorbância em 390 nm e da elaboração de curva-padrão de calibração construída a partir da solução de H₂O₂.

1.2.4.2.2 Enzimas antioxidativas

As coletas para quantificação das enzimas associadas ao mecanismo de defesa das plantas foram realizadas na mesma data e horário das coletas para peroxidação lipídica e peróxido de hidrogênio.

A extração enzimática foi realizada de acordo com metodologia proposta por Kar e Mishra (1976). Foram utilizadas 200 mg de folhas frescas congeladas, as quais foram colocadas em almofariz e maceradas em nitrogênio líquido até obtenção de um pó fino. Posteriormente, homogeneizou-se o material vegetal em 4mL de tampão fosfato de potássio (0,1M, pH 6,8) gelado. A solução extraída foi centrifugada a 10000 rpm por 10 minutos a 4°C, onde o sobrenadante obtido foi coletado e armazenado em eppendorf a -80°C para posterior determinação da concentração de proteínas solúveis totais e análises enzimáticas associadas ao sistema de defesa da planta.

Posterior ao processo de extração foi determinado o teor de proteínas solúveis totais através da técnica proposta por Bradford (1976). As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro e comparadas com a curva-padrão de caseína a 1%, sendo o teor proteico da amostra expresso em mg de proteína g⁻¹ de matéria fresca.

O reagente de Bradford utilizado na determinação da concentração de proteínas foi preparado com 100 mg de azul de Coomassie G-250 dissolvido em 50 mL de etanol 95% e a essa solução foi adicionado 100 mL de ácido fosfórico 85% (m/v), sendo que a solução resultante foi diluída para um volume final de 1 L com água deionizada. A curva padrão utilizada para os cálculos da concentração de proteínas foi realizada utilizando 100, 80, 60, 40, 20 e 0 µg de proteína (Caseína)

com posterior adição de reagente de Bradford. O sistema de reação foi composto por 50 µL do extrato enzimático e 2500 µL do reativo de Bradford. Os tubos foram agitados com o auxílio de vórtex e conduzidos à temperatura ambiente por 15 minutos. A solução resultante foi levada para leitura em espectrofotômetro à 595 nm.

Após a extração e a quantificação das proteínas solúveis totais foi determinada a atividade das enzimas antioxidantes conforme a descrição abaixo:

- **Superóxido Dismutase (SOD, EC 1.15.1.1):** A atividade da SOD foi determinada pela metodologia adaptada por Bor et al. (2003), por meio da adição de 30 µL de extrato bruto a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 µL de NBT, 100 nM de EDTA e 2 µM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,8. A reação foi iniciada pela iluminação dos tubos, em câmara composta por lâmpadas fluorescentes (15 W), a 25°C. Após 5 minutos de incubação, o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz (GIANNOPOLITIS; RIES, 1977). O composto azul formado pela fotorredução do NBT foi determinado pela leitura em espectrofotômetro à 560 nm. Uma unidade de SOD é definida como a atividade da enzima necessária para a inibição de 50% da fotorredução do NBT. Para o cálculo da atividade específica da enzima considerou-se a porcentagem de inibição obtida, o volume da amostra e a concentração de proteína na amostra, sendo a atividade expressa em U mg⁻¹ de proteína.

- **Peroxidase (POD, EC. 1.11.1.7):** A expressão da POD foi quantificada de acordo com metodologia de Teisseire e Guy (2000) no qual foram utilizados 30 µL de extrato enzimático em um sistema de reação constituído por 50 mM L⁻¹ de tampão fosfato de potássio pH 6,5; 20 mM L⁻¹ de pirogalol e 5 mM L⁻¹ de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) totalizando um volume final de 1 mL. A reação foi conduzida em temperatura ambiente por 5 minutos. A formação de purpurogalina foi medida em espectrofotômetro UV-visível a 430 nm e seu coeficiente de extinção molar (2,5 mmol L⁻¹ cm⁻¹) foi usado para calcular a atividade específica da enzima, expressa em µmol de purpurogalina min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

- **Catalase (CAT, EC 1.11.1.6):** A catalase foi determinada segundo metodologia desenvolvida por Peixoto (1999). O sistema de reação foi composto por 50 µL de extrato enzimático e 950µL de solução tampão fosfato de potássio (50 mmol L⁻¹, pH 7,0), suplementado com peróxido de hidrogênio (H₂O₂, 12,5 mmol L⁻¹), totalizando um volume final de 1000 µL. As leituras de absorvância foram realizadas em espectrofotômetro à 240 nm aos 0 e 80 segundos, a fim de verificar quanto

ocorreu de decréscimo na absorvância. Para calcular a atividade específica da enzima foi utilizado o coeficiente de extinção molar do H_2O_2 ($39,4 \text{ mmol L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) e a atividade foi expressa em $\text{nmol de H}_2\text{O}_2 \text{ consumido min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteína}$.

1.2.4.3 Variáveis de produção

A colheita iniciou-se aos 75 dias após o transplante no experimento I e aos 70 DAT no experimento II, quando os frutos atingiram o ponto de maturação fisiológica, colhidos entre os estádios 3 e 4 na escala de amadurecimento, rosa-esverdeado e róseo, respectivamente (ALVARENGA, 2013).

Em ambos os experimentos foram realizadas semanalmente seis colheitas e após colhidos, os frutos foram levados para o laboratório, sendo avaliados os seguintes parâmetros:

- **Produção total de frutos (PTF):** quantificada pela produção média de frutos por planta, acumulada ao longo das colheitas, com auxílio de balança de precisão e o resultado expresso em kg planta^{-1} ;

- **Número total de frutos (NTF):** obtido pela contagem de frutos por planta, com resultado final decorrente da somatória de todas as colheitas;

- **Produção de frutos comerciais (PFC):** obtida pela somatória nas diferentes datas de colheitas e pela massa de frutos classificados dentro do padrão comercial estabelecido pelo Programa Brasileiro para Modernização da Horticultura (2003) e o resultado final expresso em kg planta^{-1} ;

- **Produção de frutos não comerciais (PFNC):** determinada pela somatória nas diferentes datas de colheitas e pela massa de frutos considerados refugos de acordo com as normas de comercialização, e o resultado final expresso em kg planta^{-1} ;

- **Produtividade (PROD):** Obtida a partir da produção dos frutos comerciais em kg planta^{-1} e o valor final estimado em toneladas por hectare;

- **Número e porcentagem de frutos comerciais (NFC, %FC):** o número de frutos comerciais foi avaliado considerando os frutos classificados dentro dos padrões de comercialização (diâmetro equatorial, sem ocorrência de danos, seja por doenças, pragas, distúrbios fisiológicos ou físicos) e o resultado final expresso em número por planta. Já a porcentagem de frutos comerciais foi calculada considerando o valor encontrado para o número total de frutos por planta;

- **Número e porcentagem de frutos não comerciais (NFNC, %FNC):** os frutos não comerciais foram quantificados pela diferença entre o número de frutos totais e comerciais, classificados através do diâmetro não comercializável e pelos danos, sejam de origem biótica ou abiótica, com resultado final expresso em número por planta. Para a porcentagem considerou-se o número total de frutos por planta;

- **Massa média de frutos comerciais (MMFC):** resultante da razão entre a produção e o número de frutos comerciais, obtendo a massa média em kg fruto^{-1} .

1.2.5 Análise estatística

Os resultados dos parâmetros fisiológicos, bioquímicos e produtivos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para verificar a relação de dependência entre as variáveis e a correlação com a produtividade foi realizada análise exploratória multivariada, em que as variáveis foram divididas em dois grupos:

- Fisiológicas: composta pelas variáveis taxa de assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), taxa de transpiração (E), eficiência de carboxilação (A/C_i), eficiência do uso da água (A/E), eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m), eficiência quântica da antena (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) e suas respectivas datas de avaliações.

- Bioquímicas: peroxidação lipídica (MDA), teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT).

Em cada grupo de variável foi aplicada a técnica multivariada por meio da análise matemática de componentes principais (ACP) (HAIR et al., 2005), através do algoritmo de mínimos quadrados parciais iterativos não-lineares (NIPALS), justificado pelo número reduzido de observações, comparado com o número de variáveis.

No presente estudo, foram considerados os componentes que acumularam uma variância de 70%. Após selecionados os componentes, cada observação recebeu um escore referente a cada componente, desta forma, as análises

estatísticas foram realizadas baseadas nesses escores. Os dois grupos formados foram assim comparados conforme os escores das observações nos componentes com os escores da produtividade, através de gráficos de dispersão dos escores, considerando os valores de cada repetição.

A análise da estatística univariada foi realizada com o suporte do programa AGROESTAT (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015) e a análise multivariada com auxílio do programa R.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Metabolismo oxidativo e enzimático

1.3.1.1 Experimento I

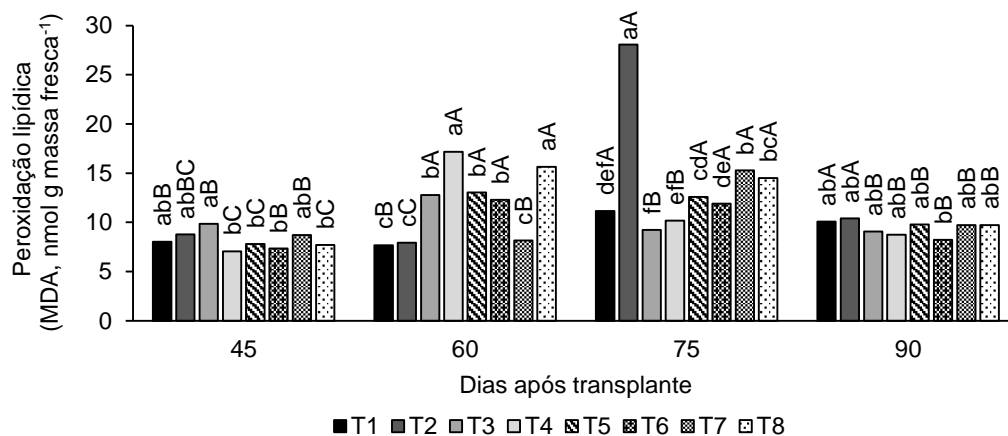
As coletas para as análises do metabolismo oxidativo e enzimas antioxidativas ocorreram 14 dias após aplicação dos tratamentos, correspondendo aos 45, 60, 75 e 90 dias após o transplante (DAT) das plantas.

O grau de peroxidação lipídica foi mais acentuado aos 60 e 75 DAT, fase final de maturação dos frutos e retirada dos primeiros frutos da planta, respectivamente (Figura 1). Constatou-se que aos 45 DAT o desempenho dos tratamentos com a menor dose dos micronutrientes misturado aos reguladores vegetais foi estatisticamente diferente, apresentando o tratamento T3 a maior peroxidação de lipídios, ou seja, maior dano a membrana.

No momento da maturação dos frutos, os tratamentos T1, T2 e T7 apresentaram valores semelhantes de peroxidação lipídica (Figura 1). Aos 60 DAT, com três aplicações, a dose intermediária de cobalto e molibdênio associada a 0,5 L ha⁻¹ dos reguladores vegetais acarretou em maior peroxidação lipídica (T4), ao passo que, a dose superior reduziu em 19,92% a concentração de malondialdeído (MDA) nas células do tomateiro (T5).

Aos 75 DAT o maior grau oxidativo ocorreu no tratamento T2. Uma das formas de remoção dos radicais livres a fim de manter a integridade das membranas é a ativação do sistema de defesa antioxidativo, nesse cenário, a catalase (CAT) é uma das principais enzimas responsáveis pela neutralização dos agentes tóxicos ao metabolismo da planta. Isso explica a alta concentração dessa enzima nas plantas desse tratamento, como tentativa de remover os níveis de H₂O₂ por meio da decomposição dessa molécula em H₂O e O₂ (Figura 1).

Figura 1 - Peroxidação lipídica (MDA, nmol g massa fresca⁻¹) em folhas de tomateiro híbrido *Santy* coletadas aos 14 dias após aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento I. São Manuel, SP, 2016.

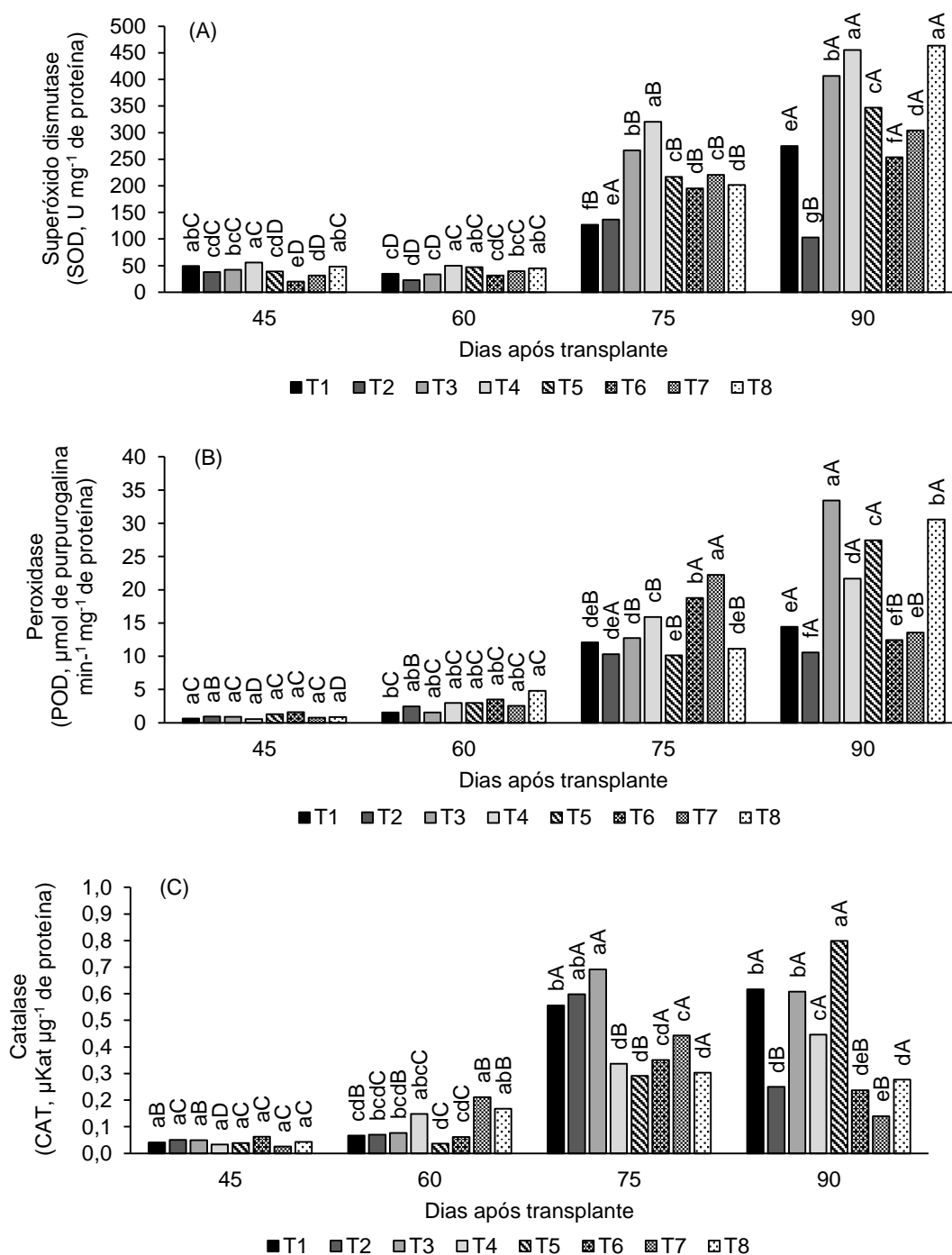


Médias seguidas de mesma letra minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de coleta foliar pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

As análises bioquímicas realizadas em plena produção de frutos mostrou diferença estatística apenas entre os tratamentos T2 e T6 (Figura 1). Presume-se que essa pouca variação de MDA aos 90 DAT seja pelas condições climáticas no mês que sucedeu o pico de produção, em particular a temperatura, com isso houve aumento da taxa respiratória nas plantas sem e com os micronutrientes e reguladores vegetais de forma geral.

As plantas pulverizadas com os micronutrientes misturados as auxinas, giberelinas e citocininas expressaram atividade mais intensa da superóxido dismutase (SOD) aos 75 e 90 DAT, correspondente a primeira colheita dos frutos e ao pico de produção (Figura 2A). De acordo com Gomes (2016) esse aumento é atribuído à intensificação do metabolismo durante a fase de alta produção do tomateiro, em que há aumento na translocação de carboidratos das folhas para os frutos, quando inevitavelmente, são produzidos radicais livres para manter a homeostase do metabolismo. Aos 45 DAT o tratamento T4 foi aquele que apresentou a maior atividade da SOD, com valores semelhantes ao T1 e T8. Infere-se com isso, que a planta ativou o sistema de defesa no tratamento T1 objetivando manter a homeostase celular em virtude do papel que os micronutrientes e reguladores vegetais exercem nas plantas (Figura 2A).

Figura 2 - Atividade das enzimas antioxidantes em folhas de tomateiro híbrido *Santy* coletadas aos 14 dias após aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais. (A) superóxido dismutase (SOD, U mg⁻¹ de proteína), (B) peroxidase (POD, μmol de purpurogalina min⁻¹ mg⁻¹ de proteína) e (C) catalase (CAT, μKat μg⁻¹ de proteína). Experimento I. São Manuel-SP, 2016.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de coleta foliar pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Por outro lado o incremento no T4 possa ter relação com o número reduzido de aplicações, que por ser também constituído da dose intermediária da mistura dos compostos de efeito hormonal, não foi suficiente para suprir a demanda metabólica da planta até essa fase fenológica, sendo necessário a ação enzimática antioxidativa. Seguindo essa lógica é provável que nas plantas do tratamento T8 esse aumento é decorrente da maior dose dos micronutrientes combinado com $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ dos reguladores vegetais, o que acarretou estresse nas plantas, certamente, ocasionado pelo desequilíbrio entre as substâncias utilizadas. De fato, para que o número de aplicações não cause efeito deletério no tomateiro, é necessário o ajuste ideal da dose a ser aplicada.

Durante a fase de crescimento e maturação dos frutos, o tratamento T4 se manteve com maior atividade, não diferindo dos tratamentos compostos da maior dose de cobalto e molibdênio (2 L ha^{-1}) misturado com $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ dos reguladores vegetais (T5 e T8) (Figura 2A). A intensificação da atividade da SOD aos 60 DAT nesses tratamentos pode ser considerada como recurso que a cultura utilizou para manter o fluxo de assimilados para os frutos em decorrência das dosagens utilizadas terem, possivelmente, desencadeado alterações bioquímicas numa fase que naturalmente há formação de espécies reativas de oxigênio, ação enzimática que impactou decisivamente nos parâmetros produtivos dos tratamentos T4 e T5 (Tabela 3).

Aos 75 DAT foi verificada atividade ainda alta no tratamento T4 com $320,42 \text{ U mg}^{-1}$ de proteína e a menor atividade enzimática foi constatada no tratamento T1 (Figura 2A). Houve queda na atividade da enzima quando aplicado a mistura dos micronutrientes e reguladores vegetais até a última colheita dos frutos (T6, T7 e T8), mostrando que após a retirada dos primeiros frutos, os tratamentos alteraram a natureza catalítica da SOD.

Na fase de maior produção dos frutos (90 DAT), os tratamentos T4 e T8 apresentaram maior atividade da SOD. Com seis aplicações, os tratamentos compostos das menores doses dos micronutrientes aplicados conjuntamente com $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ dos reguladores vegetais reduziram a atividade da enzima, resposta contrária a dose superior (Figura 2A). Observa-se, que em demasia essas substâncias além de interferir no metabolismo do tomateiro, pode também onerar os custos de produção.

A atividade da peroxidase (POD) foi mais efetiva aos 75 e 90 DAT (Figura 2B). Essa resposta ocorre em benefício da manutenção celular contra as reações oxidativas no período de alta produção de frutos

Durante o florescimento e desenvolvimento dos primeiros frutos (45 DAT), a atividade da POD foi semelhante entre os tratamentos (Figura 2B). Já na fase que antecede a primeira colheita dos frutos, os tratamentos apresentaram o mesmo comportamento, à exceção dos tratamentos T1 e T8 com atividade entre 1,55 e 4,80 μmol de purpurogalina $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína, respectivamente.

A colheita do tomate é caracterizada por várias etapas em decorrência da maturação sequencial dos frutos, o que acarreta em estresse às plantas. Desta forma, a maior dose da mistura dos micronutrientes combinada com 0,5 L ha^{-1} dos reguladores vegetais amenizou o estresse ocasionado pela retirada dos frutos aos 75 DAT, sobretudo no tratamento T5, caracterizado com frutos de boa qualidade (Tabela 3, Figura 2B). É necessário, portanto, que o suprimento hormonal ocorra na fase fenológica adequada a demanda da planta.

As alterações bioquímicas durante o pico de produção foram mais significativas no tratamento com a menor dose dos micronutrientes misturados a dose dos reguladores vegetais com três pulverizações (T3), o que gerou maior atividade da POD nesse tratamento (Figura 2B). Esse fato, reforça que o efeito dessas substâncias no tomateiro é dependente da dosagem correta, principalmente, em fases propícias ao desenvolvimento oxidativo celular.

A atividade da catalase aumentou aos 75 e 90 dias após o transplante em todos os tratamentos (Figura 2C). A resposta dos tratamentos aos 45 DAT não apresentou diferença estatística entre os tratamentos na atividade da CAT (Figura 2C). Aos 60 DAT, considerando as aplicações com a maior dose de cobalto e molibdênio aplicado em conjunto com a dose dos reguladores vegetais até a primeira e última colheita dos frutos, a baixa atividade no T5 indica que menos aplicações resulta em menor estresse as plantas, uma vez que o T8 apresentou maior atividade.

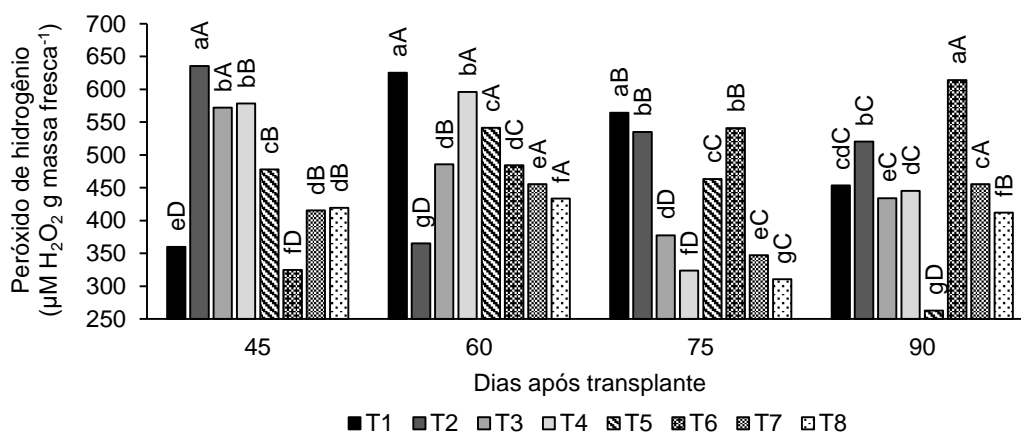
Aos 75 DAT a maior atividade da CAT foi constatada no tratamento T3 que não diferiu do tratamento T2 (Figura 2C). Foi apurado ainda similaridade entre o tratamento composto apenas dos reguladores vegetais com o tratamento controle (T1). Esse grau significativo da CAT nesses tratamentos revela a importância do cobalto e molibdênio na proteção das plantas aos fatores estressantes, sobretudo,

na síntese de etileno, já que o aumento de molibdênio na planta aumenta os níveis de auxina, que por sua vez sintetiza etileno. Enquanto o cobalto age como inibidor na rota metabólica desse hormônio.

Nas coletas realizadas aos 90 DAT a maior atividade da CAT foi observada no tratamento T5 (Figura 2C). O tratamento controle também se mostrou com alta atividade da enzima, que pode estar relacionada à máxima produção de frutos nesse período, exigindo do tomateiro maior aporte de substâncias com efeito fisiológico. Dessa maneira, a CAT foi mais operante nesse tratamento objetivando assegurar a produção.

De maneira geral, para maioria dos tratamentos testados, todas as datas influenciaram no conteúdo de peróxido de hidrogênio (Figura 3). O comportamento dos tratamentos em cada época revelou acúmulo máximo de H_2O_2 no tratamento T2 aos 45 DAT, o que reforça a ação conjunta dos micronutrientes e reguladores vegetais como atenuante dos fatores bióticos e abióticos nos tecidos do tomateiro.

Figura 3 - Peróxido de hidrogênio ($\mu M H_2O_2 g$ massa fresca $^{-1}$) em folhas de tomateiro híbrido Santy coletadas aos 14 dias após aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento I. São Manuel, SP, 2016.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de coleta foliar pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAA = Dias após aplicação. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Aos 60 e 75 DAT ocorreu maior acúmulo de H_2O_2 nas plantas do tratamento controle, como resultado da falta de proteção oferecida pela aplicação de

micronutrientes e reguladores vegetais que podem atuar reduzindo o estresse oxidativo (Figura 3).

Na fase de máxima produção de frutos, constatou-se que o tratamento T6 foi responsável pelo elevado acúmulo de H_2O_2 , seguido do tratamento T2 (Figura 3). No geral, foi observado que a concentração aumentou nas plantas tratadas com os micronutrientes e reguladores vegetais até a última colheita dos frutos.

Em tese constata-se que na dose ideal associada a época de aplicação correta, a pulverização exógena de auxina, giberelina e citocinina de forma isolada ou combinada com cobalto e molibdênio atuam como marcadores das vias de transdução de sinais contra a formação de danos oxidativos durante o desenvolvimento e crescimento do tomateiro e posterior formação e maturação dos frutos.

1.3.1.2 Experimento II

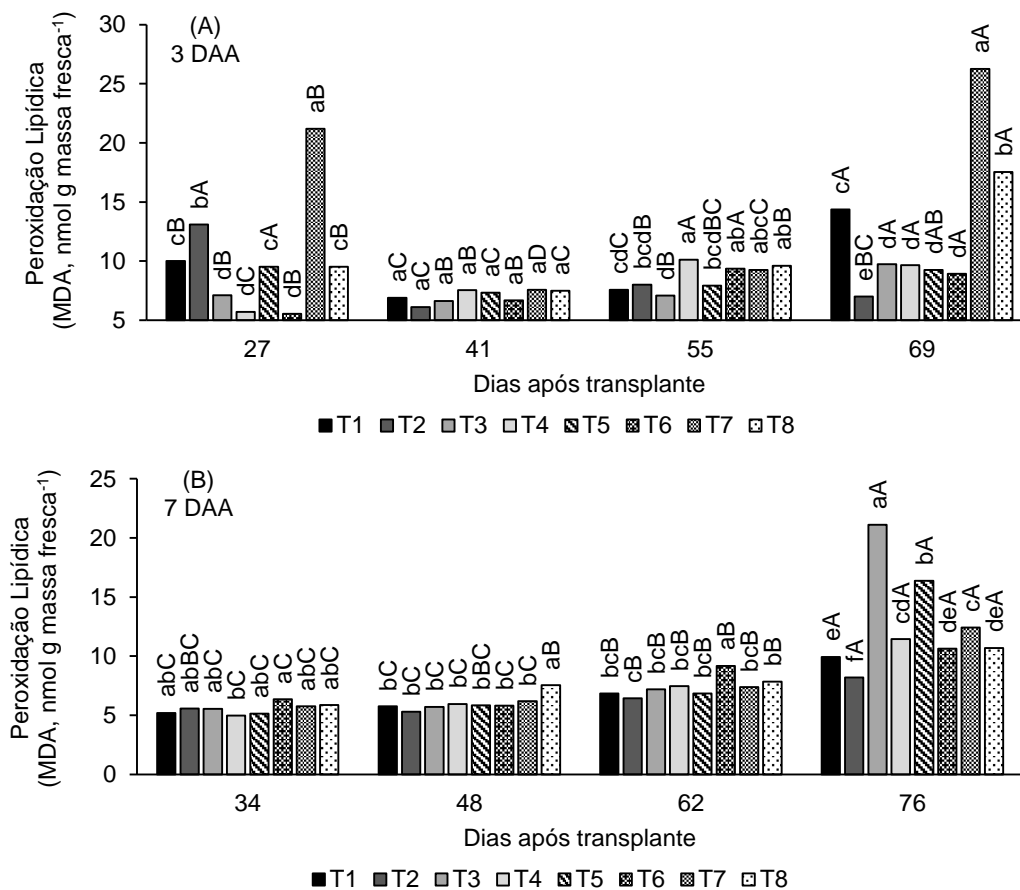
Houve interação entre as aplicações dos micronutrientes e reguladores vegetais com as épocas de coleta foliar, tanto para as coletas realizadas aos 3 dias após aplicação (3 DAA) como aos 7 DAA. As coletas efetivadas aos 3 DAA corresponderam aos 27, 41, 55 e 69 dias após o transplante (DAT) e aos 7 DAA aos 34, 48, 62 e 76 DAT.

Constatou-se aos 3 DAA que a maior peroxidação lipídica expressa no trabalho em concentração de malondialdeído (MDA) foi aos 69 DAT, representando 50% dos tratamentos (Figura 4A). Esse incremento está relacionado provavelmente à baixa atividade da SOD nesse período, o que fez a planta impulsionar a atividade da POD e CAT para a limpeza das ERO no interior da célula (Figuras 5A, 6A e 7A).

Na avaliação dos tratamentos em cada época de coleta, a maior peroxidação lipídica aos 27 DAT ocorreu no tratamento T7 com $21,18 \text{ nmol g massa fresca}^{-1}$, precisamente pela baixa atuação das enzimas antioxidativas nesse período (Figura 4A). As plantas tratadas apenas com os reguladores vegetais também desencadearam maior degradação dos lipídios das membranas. Esse efeito no tratamento T2 mostra a intensa atividade da POD em tentar desintoxicar à célula do estresse oxidativo, o que interferiu positivamente nas variáveis de produção (Tabela 5, Figura 6A).

Aos 41 DAT não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos quanto à peroxidação lipídica (Figura 4A). Como é uma fase crítica para a planta devido a demanda nutricional e demais alterações referentes ao florescimento e frutificação, as enzimas são inevitavelmente ativadas, mas nesse caso, as doses aplicadas não interferiram no controle da peroxidação de lipídios.

Figura 4 - Peroxidação lipídica (MDA, nmol g massa fresca⁻¹) em folhas de tomateiro híbrido Santy em duas épocas de coleta após aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais. (A) coletas aos 3 dias e (B) aos 7 dias. Experimento II. São Manuel, SP, 2017.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de coleta foliar pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAA = Dias após aplicação. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Quando as coletas ocorreram aos 55 DAT, o tratamento T4 respondeu em quantidade de nmol g massa fresca⁻¹ semelhante aos tratamentos agrupados no

maior número de aplicações, efeito semelhante à atividade da POD nessa fase de coleta como tentativa de eliminar o estresse oxidativo (Figuras 4A e 6A).

Na última coleta aos 3 DAA, o tratamento T7 se manteve com máxima peroxidação lipídica, o que eventualmente provocou danos à membrana da célula e, conseqüentemente, queda da produção (Tabela 5, Figura 4A). Embora aos 69 DAT a SOD e a POD tenham apresentado declínio em suas atividades nas plantas do tratamento T2, o grau de peroxidação lipídica nesse tratamento foi baixo (Figuras 4A, 5A e 6A).

Desdobrando o efeito de cada tratamento dentro das épocas de avaliações nas coletas aos 7 DAA, foi verificado que para todos os tratamentos a época de maior peroxidação lipídica ocorreu aos 76 DAT. Efeito proporcional a maior atividade da POD nesse período, sinalizando a importância dessa enzima contra os malefícios advindos dos radicais livres (Figuras 4B e 6B).

Analisando os tratamentos para cada época avaliada, aos 34 DAT houve diferença estatística apenas entre os tratamentos T4 e T6, com menor e maior peroxidação lipídica (Figura 4B). Esse efeito é decorrente da atividade da SOD e CAT nesses tratamentos, com grau mais expressivo no tratamento T4, tendo sido observado alterações no incremento da peroxidação de lipídios, conforme a atuação enzimática (Figuras 5B e 7B).

Aos 48 DAT, o tratamento T8 foi responsável pela maior peroxidação lipídica nas células do tomateiro e os demais tratamentos exibiram os mesmos valores. Foi verificado no tratamento T8 atividade expressiva também da POD nessa coleta como forma da planta contornar a peroxidação lipídica, o que contribuiu ainda para a redução do conteúdo de H_2O_2 (Figuras 4B, 6B e 8B).

A peroxidação lipídica já próxima à primeira colheita dos frutos foi mais alta no tratamento T6, estatisticamente diferente de todos os demais avaliados. Esses dados explicam a atividade da POD aos 62 DAT nesse tratamento, demonstrando a ação da POD em conter a peroxidação de lipídios no meio intracelular (Figuras 4B e 6B).

Na coleta subsequente, o tratamento T3 mostrou maior peroxidação lipídica, o que explica a atividade da SOD com valores mais elevados em $U\ mg^{-1}$ de proteína aos 76 DAT (Figura 4B e 5B). Apesar da atuação dessa enzima, a falta de equilíbrio com as demais avaliadas favoreceu a deterioração da membrana, com impacto negativo na produção de frutos (Tabela 5).

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) aos 3 DAA revelou que 62,50% dos tratamentos apresentaram maior atividade aos 27 DAT, período em que o tomateiro começa a entrar na fase de floração (Figura 5A).

Ao comparar os tratamentos dentro de cada época de coleta foi observado que aos 27, 41 e 69 DAT o tratamento controle (T1) apresentou maior atividade que o tratamento composto apenas de auxina, giberelina e citocinina (T2) (Figura 5A). Pelo resultado verificado no tratamento controle, compreende-se a importância dos reguladores vegetais para o desenvolvimento do tomateiro, já que o tratamento T2 foi menos expressivo na atividade da enzima, indicando que a energia que a planta gastaria ativando a SOD foi direcionada para a translocação de assimilados, visto que esse tratamento apresentou bons resultados na produção de tomate (Tabela 5). No geral, nota-se a interferência das doses na redução do aceite comercial do fruto, o que desencadeou respostas heterogêneas na atividade da superóxido dismutase.

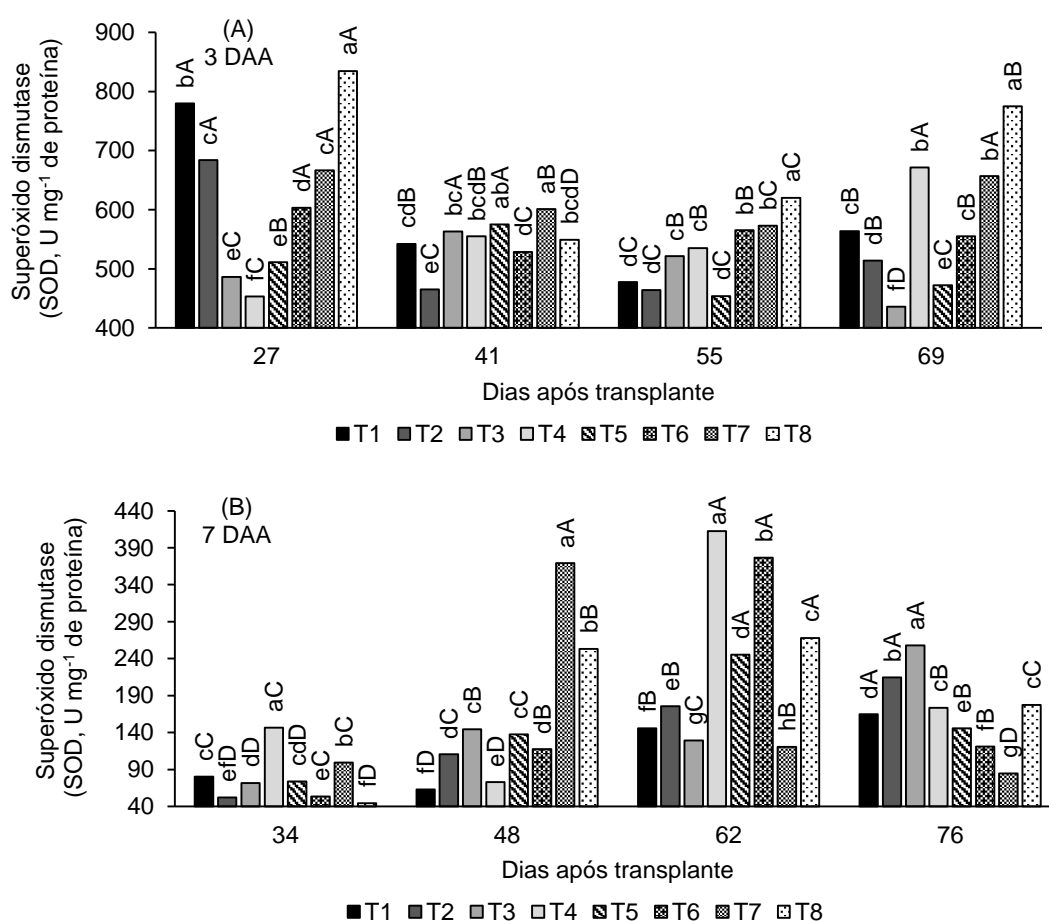
Para a segunda época de coleta (41 DAT), nos tratamentos compostos por seis aplicações a dose intermediária de cobalto e molibdênio misturado a dose dos reguladores vegetais foi responsável pela maior atividade da SOD (Figura 5A), não diferindo do tratamento T5, ou seja, não basta apenas fornecer as plantas essas substâncias, é necessário que a dose esteja na proporção apropriada as necessidades da planta.

Já na fase de plena frutificação (55 DAT), constatou-se que o maior número de aplicações (seis vezes) culminou em maior atividade da SOD, com efeito mais expressivo no tratamento representado pela maior dose de cobalto e molibdênio, aplicado conjuntamente com a dose dos regulados vegetais (T8) (Figura 5A). Com base nos resultados dos demais tratamentos induz-se que essa alta atividade no tratamento T8 não esteja relacionada a fase fenológica da planta que demanda muita energia para o fruto que é um dreno, mas sim, ao estresse oxidativo ocasionado pelo excesso da dose e número de aplicações.

Aos 69 DAT que corresponde ao início da colheita dos frutos, foi observado que o dobro de aplicações (seis vezes) com o uso da maior dose dos micronutrientes (2 L ha^{-1}) em associação a dose dos reguladores vegetais ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$) resultou em aumento na atividade da SOD (T8), demonstrando que transcorrer com as aplicações aliada a maior dose, possa acarretar em alterações bioquímicas na planta, sendo necessário acionar o sistema de defesa antioxidante (Figura 5A).

Para as avaliações enzimáticas ocorridas aos 7 dias após a aplicação, foi constatado decréscimo na atividade da SOD em todas as épocas de coleta em comparação aos 3 dias (Figuras 5A e 5B). As coletas aos 62 e 76 DAT tiveram maior influência na atividade da SOD aos 7 DAA para todos os tratamentos.

Figura 5 - Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD, U mg⁻¹ de proteína) em folhas de tomateiro híbrido Santy em duas épocas de coleta após aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais. (A) coletas ao 3 dias e (B) aos 7 dias. Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de coleta foliar pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAA = Dias após aplicação. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Ao analisarmos a interação dos tratamentos em cada época foi constatado que aos 34 DAT o tratamento T4 apresentou maior atividade da SOD. A coleta foliar correspondente a segunda aplicação das substâncias exibiu menor atividade

enzimática no tratamento T1, enquanto a maior atividade foi verificada no tratamento T7 (Figura 5B). O tratamento controle em comparação aos demais tratamentos resultou em baixa atividade enzimática, inferindo dizer que a combinação das substâncias com as respectivas doses implica em certo grau de estresse as plantas.

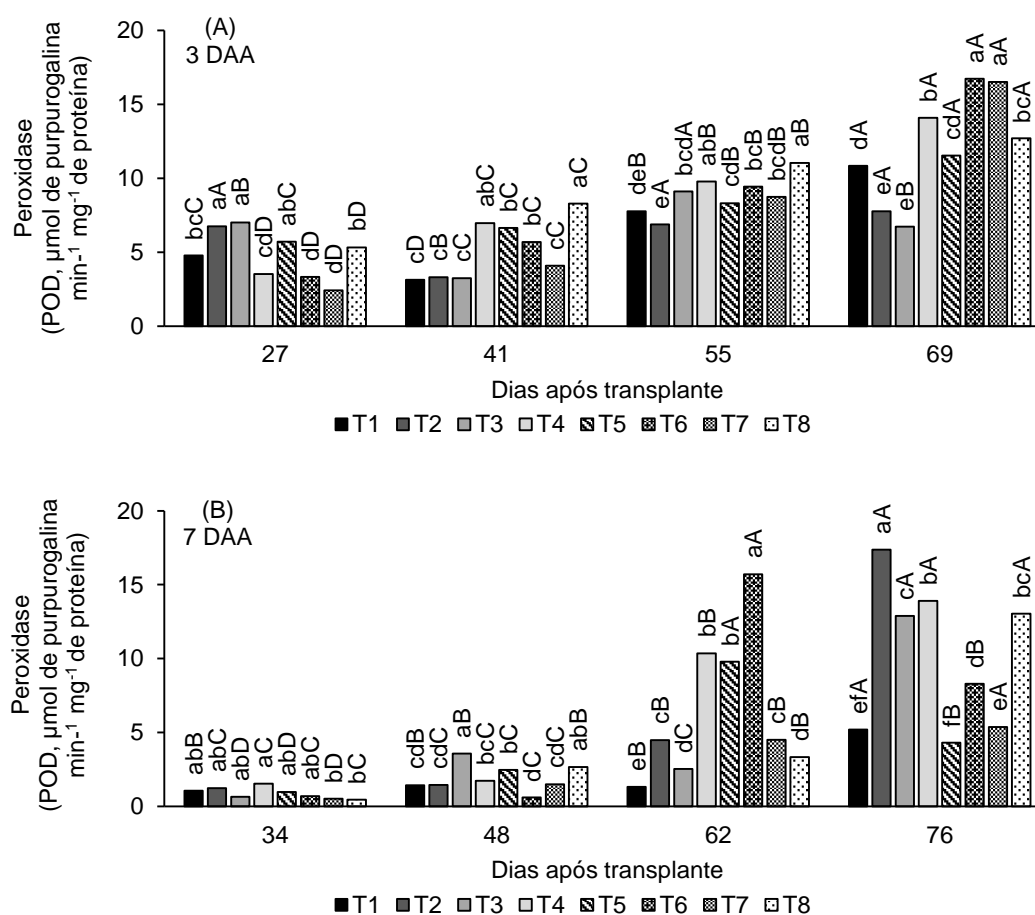
A atividade da SOD aos 62 DAT variou de 120,54 a 412,36 U mg⁻¹ de proteína, com diferença estatística entre todos os tratamentos, com menor e maior atividade nos tratamentos T7 e T4, respectivamente (Figura 5B). Após a primeira colheita dos frutos, o tratamento T7 se manteve com baixa atividade, enquanto o tratamento T4 reduziu em 57,95% a atividade da SOD em relação a coleta anterior. Quanto as plantas tratadas com três e seis aplicações, a menor dose e a dose intermediária dos micronutrientes pulverizados com a mistura dos reguladores vegetais apresentaram atividade mais elevada quando aplicadas até a primeira colheita dos frutos, enquanto o uso da maior dose nessa época reduziu a atividade da enzima.

Em relação à atividade da peroxidase (POD) aos 3 DAA foi verificado que 75% dos tratamentos se mostraram mais efetivos aos 69 DAT (Figura 6A). A resposta para esse resultado está relacionada a fase que antecede a formação dos frutos e posterior síntese e degradação responsável pela maturação fisiológica, o que fez a POD apresentar maior pico de atividade nessa coleta.

Na coleta subsequente, a maior atividade foi constatada nos tratamentos com a menor dose e com a dose intermediária de cobalto e molibdênio pulverizadas com 0,5 L ha⁻¹ da mistura de auxina, giberelina e citocinina até a última colheita dos frutos (T6 e T7) (Figura 6A). Foi verificado ainda que as maiores doses apresentaram a mesma atividade da POD, resposta contrária as coletas anteriores. Julga-se então, a adaptabilidade do tomateiro na maior dose quando as plantas já se encontram com os frutos formados e em plena maturação.

A análise do desdobramento da interação para o efeito das épocas aos 7 DAA mostrou que 75% dos tratamentos apresentaram maior incremento da POD aos 76 DAT (Figura 6B). Em relação ao efeito dos tratamentos em cada época, verificou-se que aos 34 DAT a única diferença estatística detectada foi entre o tratamento T4 com T7 e T8. Os resultados sugerem que essa pouca variação na atividade da POD esteja relacionada a época em que as plantas foram induzidas aos tratamentos. Já que aos 34 DAT, as plantas estavam passando da fase vegetativa para o florescimento, e as aplicações iniciaram exatamente na floração.

Figura 6 - Atividade da enzima peroxidase (POD, μmol de purpurogalina min^{-1} mg^{-1} de proteína) em folhas de tomateiro híbrido Santy em duas épocas de coleta após aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais. (A) coletas ao 3 dias e (B) aos 7 dias. Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de coleta foliar pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAA = Dias após aplicação. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

As plantas tratadas com a menor dose dos micronutrientes combinada com a dose dos reguladores vegetais com três aplicações apresentaram maior atividade da POD aos 48 DAT (T3), resultado similar a maior dose com seis aplicações (T8) (Figura 6B). Pressupõe-se com esses resultados que a composição do tratamento T3 não foi suficiente para manter a planta em atividade normal sob condições ambientais adversas, ao passo que no tratamento T8 configura possível estresse oxidativo, o que fez a planta ativar a POD com o objetivo de evitar a formação das ERO.

Aos 62 DAT, a atividade da POD no tratamento controle foi menor (Figura 6B). O fato das plantas tratadas com os micronutrientes e reguladores vegetais terem apresentado maior atividade da POD em relação ao controle se deve pela quantidade dessas substâncias nas células que acabam gerando sinal de estresse no vegetal, que acrescida da colheita fez a planta ativar de forma mais eficiente o sistema de defesa, enquanto o estresse nas plantas do tratamento controle advém apenas da fase e do meio externo em que as plantas se encontravam.

Ponderando a viabilidade econômica, o tratamento T4 com três aplicações derivou em maior atividade da POD, porém, ao duplicar o número de aplicações a atividade decaiu em 56,47% (T7) (Figura 6B). Nota-se que as plantas de tomateiro necessitaram de 4,5 L a mais das substâncias para conseguirem manter seu metabolismo em atividade celular sem precisar gastar energia com a ativação do sistema de defesa antioxidante. Todavia, é importante considerar, nesse caso, o preço com a aquisição do produto.

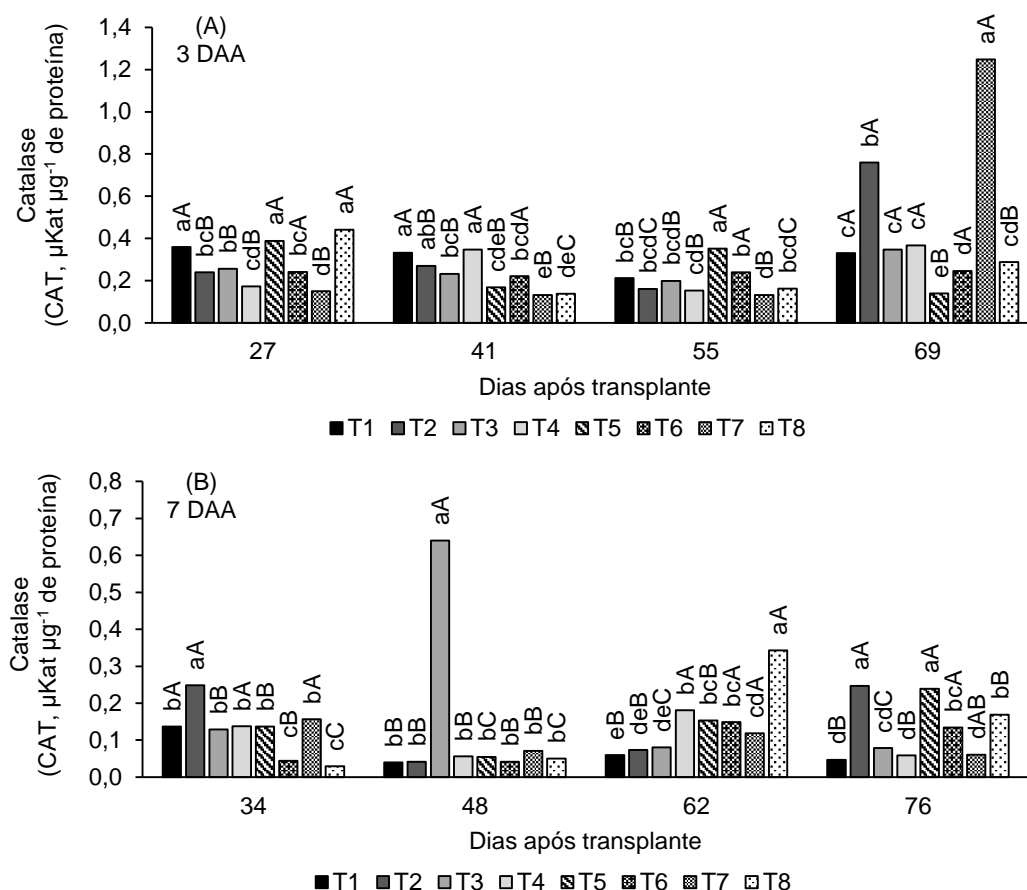
Resultado inverso ocorreu com a menor dose da junção dos micronutrientes com a dose dos reguladores vegetais (T3 e T6), no qual seis aplicações foram responsáveis pelo acréscimo de 83,77% na atividade da POD (Figura 6B). Seguramente, esses 3 L a mais nas plantas do tratamento T6 causou fitotoxidez e, conseqüentemente, o tomateiro não conseguiu metabolizar as substâncias, com isso a POD foi ativada com mais intensidade.

Na última coleta foliar o tratamento T2 foi responsável pela maior atividade da POD, esse resultado é justificado pela ausência dos micronutrientes que em equilíbrio com os reguladores vegetais favorecem a planta na otimização dos recursos naturais pela sobrevivência (Figura 6B).

Em referência as épocas de coleta para cada tratamento aos 3 DAA na atividade da catalase verificou-se que os tratamentos foram mais expressivos aos 27 e 69 DAT, efeito resultante do estágio fenológico da cultura (Figura 7A).

A resposta para os tratamentos dentro de cada época, mostrou similaridade entre os tratamentos T1, T5 e T8 aos 27 DAT (Figura 7A). Essa alta atividade no tratamento T1 é consequência da falta das substâncias de efeito fisiológico, o que exigiu da planta suporte da CAT na fase de florescimento, fase esta considerada crítica para a cultura. Já nos tratamentos T5 e T8 esse efeito possa estar relacionado a quantidade do produto acima da considerada ideal para a planta nesse estágio fenológico.

Figura 7 - Atividade da enzima catalase (CAT, $\mu\text{Kat } \mu\text{g}^{-1}$ de proteína) em folhas de tomateiro híbrido Santy em duas épocas de coleta após aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais. (A) coletas ao 3 dias e (B) aos 7 dias. Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de coleta foliar pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAA = Dias após aplicação. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Quando o tomateiro entrou na fase de plena floração, não foi constatada diferença estatística entre o controle com os tratamentos T2 e T4 (Figura 7A). Ressalta-se que a atividade da POD aos 41 DAT foi baixa nos tratamentos T1 e T2, o que fez da CAT um importante recurso para o tomateiro na otimização de flores. Nessa fase, considerando os grupos de aplicações, foi observado que o tratamento T4 apresentou maior atividade, contrapondo o tratamento T7 constituído da mesma dosagem, no entanto, as plantas desse tratamento receberam o dobro de pulverizações.

Aos 55 DAT o tratamento T5 apresentou maior atividade da catalase. Esse grau elevado condiz com a baixa atividade da POD nessa mesma época avaliativa e seguramente pode estar relacionado com a reação da SOD que libera H_2O_2 no meio intracelular (Figuras 6A e 7A). A POD juntamente com a CAT é responsável pela eliminação desse subproduto, então, pelo decréscimo da atividade da POD foi necessária a ação da CAT nesse tratamento (Figuras 6A e 7A). Vale ressaltar também que essa alta atividade possa ter ligação com o menor número de aplicações nas plantas desse tratamento. Com isso, o produto não inibiu os efeitos adversos do meio de cultivo, sendo imprescindível a ativação dessa enzima como via de proteção à membrana celular na fase em que os primeiros cachos estão com os frutos aptos a serem colhidos e os demais frutos em crescimento associados a bioquímica da maturação.

A partir da colheita dos primeiros frutos, o tratamento com maior atividade da catalase foi o tratamento T7, seguido do tratamento T2 (Figura 7A). Nesse caso, a efetividade da CAT no tratamento 2 refletiu no decréscimo da peroxidação de lipídios, aos 69 DAT (Figuras 4A). No tratamento T7 foi constatada atividade elevada também nas demais enzimas avaliadas, o que indica alto grau de oxidação nos compartimentos celulares, exigindo da planta auxílio da catalase na prevenção da membrana.

As coletas foliares aos 7 DAA mostrou que a atividade da CAT foi mais efetiva aos 34, 62 e 76 DAT para a maioria dos tratamentos (Figura 7B). A resposta dos tratamentos dentro de cada época apresentou atividade máxima da CAT no tratamento T2 aos 34 DAT, efeito induzido pela carência dos micronutrientes na fase que antecede a floração. Contudo, pautado nos resultados de produtividade o incremento da atividade da CAT nesse tratamento assegurou a produção de frutos (Tabela 5).

Com a planta já em processo de desenvolvimento dos frutos (48 DAT), o T3 apresentou maior atividade, se diferindo dos demais tratamentos (Figura 7B). Observa-se com isso que o balanço ideal entre dose e número de aplicações é de suma importância nessa época de descarregamento de assimilados para os frutos.

Aos 62 DAT, o tratamento T8 acarretou em maior atividade da CAT, recurso que a planta utilizou contra abscisão de frutos, já que esse tratamento ficou dentre os que apresentaram baixa produtividade (Figura 7B).

Na última coleta foliar os tratamentos T2 e T5 foram os que apresentaram maior atividade enzimática (Figura 7B). Como essa avaliação é referente a colheita dos frutos, esse acréscimo da atividade da CAT permitiu que as plantas desses tratamentos produzissem frutos dentro do padrão comercial.

As coletas apresentaram queda na atividade da SOD e POD entre 3 e 7 DAA, com efeito mais pronunciado na SOD, indicativo de que o uso dos micronutrientes e reguladores vegetais agem de forma mais efetiva na atividade enzimática nas primeiras 72 horas após a aplicação dos produtos.

As médias para o teor de peróxido de hidrogênio aos 3 DAA foram maiores aos 55 e 69 DAT. (Figura 8A). Esse fato explica o grau de expressividade da POD e CAT também aos 69 DAT para a maioria dos tratamentos estudados, em razão dessas duas enzimas configurarem como as principais na neutralização de H_2O_2 a níveis prejudiciais à planta (Figuras 6A e 7A).

A resposta dos tratamentos em cada época avaliada mostrou que aos 27 DAT o tratamento controle divergiu de todos os demais, com maior concentração dessa molécula nos tecidos foliares (Figura 8A).

Nas coletas realizadas aos 41 DAT, o tratamento T2 apresentou maior acúmulo de H_2O_2 , com efeito similar ao tratamento T8, isso mostra que os reguladores vegetais em conjunto com os micronutrientes foliares, apesar de atuarem como mediadores nos processos bioquímicos das plantas, se não aplicados em concentrações e momento fenológico adequados haverá redução na eficiência do produto, deixando a planta mais suscetível à presença dos radicais livres (Figura 8A).

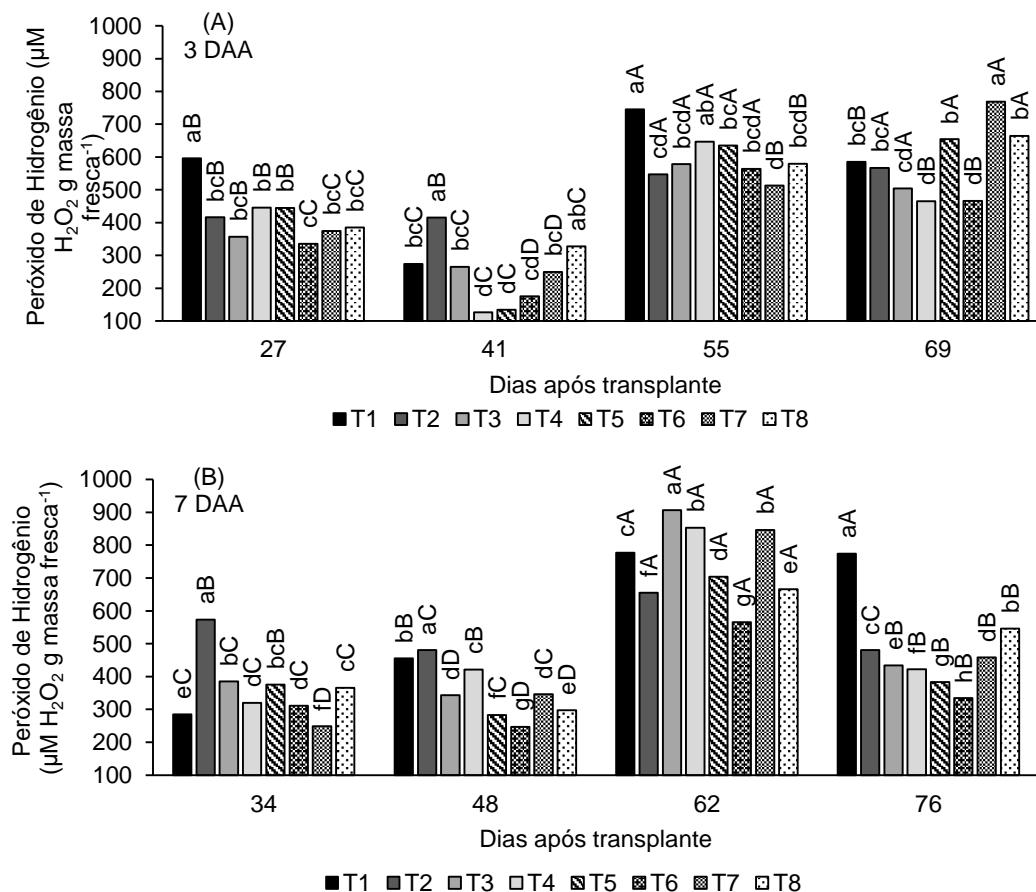
Na terceira coleta foliar equivalente aos 55 DAT, o tratamento T1 apresentou níveis elevados de peróxido de hidrogênio, análogo ao tratamento T4 (Figura 8A). Esse acúmulo de H_2O_2 nos órgãos celulares desses tratamentos ocasionou queda na produção de frutos, como verificado na Tabela 5.

Aos 69 DAT o tratamento T7 expôs o tomateiro à alta produção de H_2O_2 , isso explica a alta atividade da POD e CAT nesse período, recurso ativado pela planta objetivando a remoção dessa molécula, que em concentrações elevadas tornam-se tóxicas às células (Figura 8A).

As análises efetivadas aos 7 DAA mostraram que 99% dos tratamentos foram mais expressivos na produção de H_2O_2 aos 62 DAT (Figura 8B). A ausência dos micronutrientes resultou em maior produção de H_2O_2 no tratamento T2 aos 34 e 48

DAT, mostrando que o cobalto e molibdênio em sinergismo com os reguladores vegetais atenuam os efeitos estressantes na cultura do tomateiro. Wi et al. (2012) afirmam que o cobalto está indiretamente envolvido no combate ao estresse, diminuindo a produção das ERO, pela inibição na síntese de etileno, hormônio vegetal que pode ser sintetizado em condições de estresse, aumentando os danos oxidativos.

Figura 8 - Conteúdo de peróxido de hidrogênio ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ g massa fresca}^{-1}$) em folhas de tomateiro híbrido Santy em duas épocas de coleta após aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais. (A) coletas ao 3 dias e (B) aos 7 dias. Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de coleta foliar pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAA = Dias após aplicação. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Aos 62 DAT, o maior conteúdo dessa molécula foi obtida no tratamento T3, em contrapartida o tratamento T6 composto da mesma dose, porém, com número de aplicações duplicadas apresentou menor acúmulo de H_2O_2 (Figura 8B). Esse nível baixo de H_2O_2 no tratamento T6 tem relação com a maior atividade da POD nesse período como forma de reduzir as taxas de ERO nos tecidos do tomateiro (Figura 6B).

A partir da primeira colheita dos frutos, o maior acúmulo de H_2O_2 foi detectado no tratamento T1, destituído dos micronutrientes e reguladores vegetais, o que enfatiza a essencialidade desses compostos para a cultura do tomateiro em ambiente protegido (Figura 8B).

Com esses resultados há indícios de que a quantidade de H_2O_2 nas células do tomateiro não era alta a ponto de prejudicar a produção, sobretudo nos tratamentos T2 e T5. O que indica também que os valores encontrados para a atividade da CAT nas plantas dos tratamentos foram baixos, pois conforme Dubley (2011) a atividade da CAT é efetiva, principalmente, em concentrações relativamente altas de H_2O_2 . Por esse motivo são indispensáveis a desintoxicação das ERO, especialmente, em condições de estresse severo, quando os níveis de H_2O_2 estão altos. Esta afirmação justifica no trabalho a POD ter sido mais eficiente na neutralização dos radicais acumulados na membrana acima do normal para as atividades celulares.

Em tese, certifica-se que a baixa atividade da CAT nos dois experimentos pode ser explicada pela atividade enzimática da ascorbato peroxidase (APX), considerada essencial no metabolismo antioxidante das plantas, que apesar de não ter sido quantificada no presente trabalho, pode ter sido a responsável pela eliminação efetiva de H_2O_2 no meio intracelular. Segundo Gill e Tuteja (2010), a APX com sua alta afinidade, atua quando o H_2O_2 está presente em baixas concentrações, já a CAT, por outro lado, tem comportamento inverso. Embasado nessa afirmação, pode-se aferir pelos dados de produção, que o acúmulo de H_2O_2 no tomateiro dos dois experimentos encontrava-se abaixo do nível considerado crítico para a cultura.

1.3.2 Parâmetros fisiológicos

1.3.2.1 Experimento I

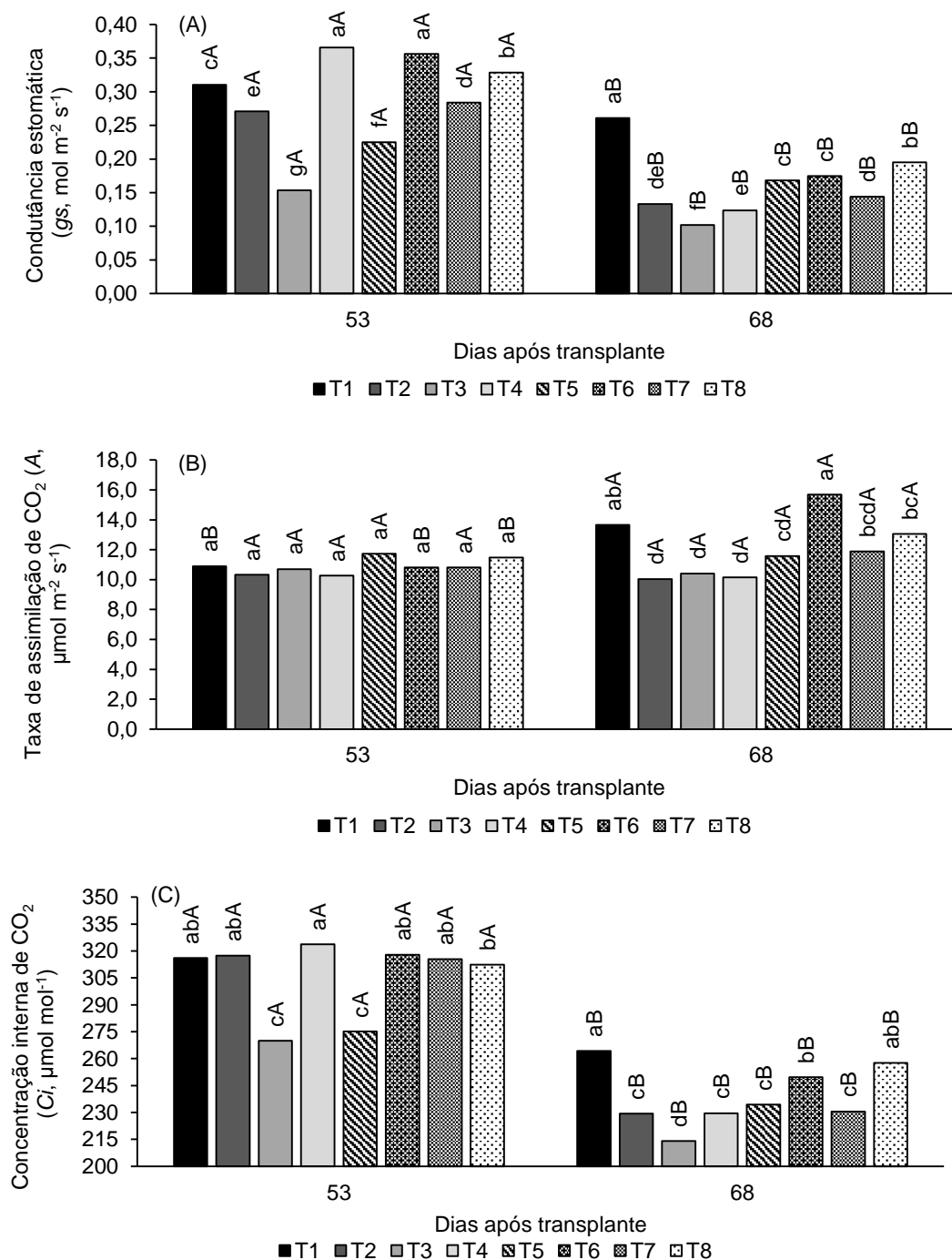
As Figuras 9 e 10 apresentam os resultados de trocas gasosas pelas quais observa-se interação entre as variáveis e os dias que procederam as avaliações. No geral, o efeito das épocas em cada tratamento foi mais significativo para o processo de abertura estomática aos 53 dias, oposto aos 68 DAT. Essa diferença entre as duas datas no movimento estomático foi influenciado pelos fatores climáticos no dia da avaliação, principalmente, alta temperatura.

A abertura dos estômatos em maior grau aos 53 DAT foi o recurso utilizado pelas plantas no controle da temperatura foliar, ao mesmo tempo que o fechamento estomático aos 68 DAT indica restrição à perda de água diante das condições térmicas dentro do ambiente de cultivo. Ademais, a fase fenológica da cultura foi outro fator determinante, o que resultou em maior e menor transpiração aos 53 e 68 DAT, respectivamente. O baixo índice transpiratório aos 68 DAT favoreceu a eficiência do uso da água, ao passo que a mínima abertura dos estômatos não afetou a assimilação de CO₂ nas plantas de tomateiro. Paralelo a esses resultados a atividade da enzima Rubisco foi mais elevada aos 68 DAT, o que justifica a baixa concentração de CO₂ na câmara subestomática (Figuras 9A, 9B, 9C, 10A, 10B e 10C).

Desdobrando o efeito dos tratamentos em cada época, verificou-se que o processo de abertura estomática apontou variação entre os tratamentos aos 53 DAT (Figura 9A). As plantas tratadas com a menor e maior dose dos micronutrientes aplicados simultaneamente com a dose dos reguladores vegetais (T3 e T5) apresentaram menor abertura dos estômatos com três aplicações ao longo do ciclo do tomateiro (Figura 9A). Contudo, apesar do mecanismo estomático favorecer a assimilação de CO₂, não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos para essa variável aos 53 DAT (Figura 9B).

A concentração interna de CO₂ é resultado da abertura estomática e absorção de carbono da atmosfera, servindo como parâmetro para avaliar a atividade da enzima Rubisco. Em resposta à menor abertura dos estômatos, os tratamentos T3 e T5 apresentaram aos 53 DAT menor acúmulo de CO₂ na câmara subestomática (Figura 9C).

Figura 9 - Variáveis de trocas gasosas em folhas de tomateiro híbrido Santy avaliadas aos 53 e 68 dias após o transplante com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. (A) Condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), (B) taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e (C) concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$). Experimento I. São Manuel-SP, 2016.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de avaliação pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA_3 + Kt ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($0,5 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T4**= Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($1 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T5**= Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($2 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($0,5 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T7**= Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($1 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T8**= Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($2 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA_3** = ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

A concentração de carbono nos tratamentos T3 e T5 também pode ser justificada pelos maiores valores constatados para a eficiência de carboxilação, mostrando que o carbono fixado estava sendo incorporado (Figura 10A). A atividade da Rubisco é quantificada por meio da assimilação de CO₂ e concentração interna de CO₂ na câmara subestomática. Houve pouca oscilação na atividade dessa enzima aos 53 DAT. No grupo de três aplicações o tratamento T5 foi mais efetivo no aumento da atividade da enzima Rubisco.

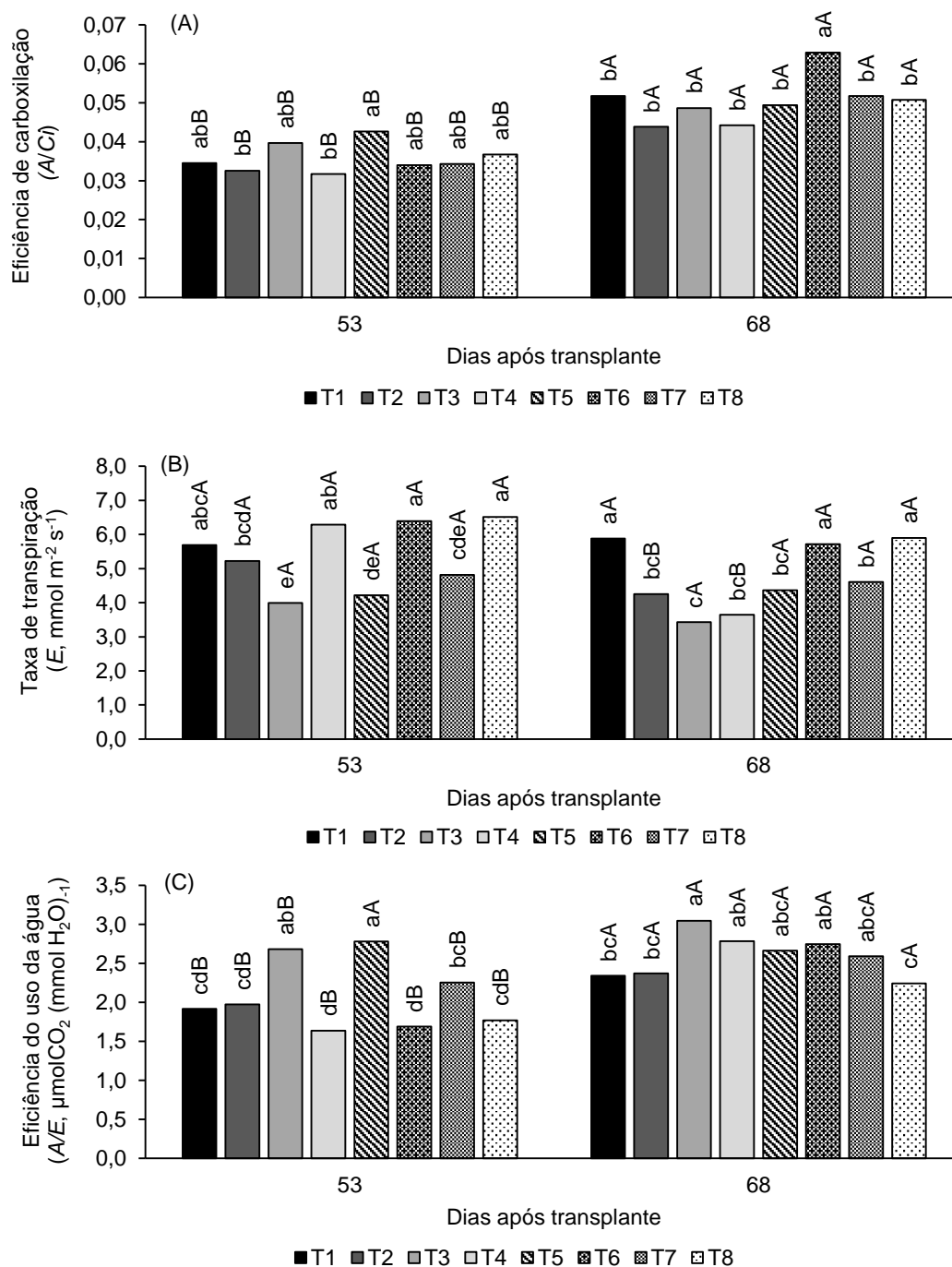
O maior fluxo transpiratório aos 53 DAT ocorreu nos tratamentos com a pulverização de 0,5 e 2 L ha⁻¹ de cobalto e molibdênio aplicados com 0,5 L ha⁻¹ dos reguladores vegetais seis vezes durante o ciclo do tomateiro (T6 e T8), que em perda de água foram estatisticamente iguais aos tratamentos T1 e T4 (Figura 10B). Essa elevada transpiração nos tratamentos T4 e T6 é resultado do grau de abertura estomática nesse período.

A eficiência do uso da água advém da razão entre assimilação de CO₂ e transpiração foliar, mas o estágio fenológico, assim como o material genético utilizado vinculado aos fatores climáticos influenciam nessa relação fisiológica. Assim, fundamentado apenas nos dados de perda de água, a elevada taxa transpiratória nos tratamentos T4 e T6 reduziu a eficiência hídrica aos 53 DAT (Figura 10C).

Nas avaliações efetivadas aos 68 DAT as plantas do tratamento controle exibiram maior condutância estomática (Figura 9A). Os resultados para o teor de peróxido de hidrogênio aos 60 DAT (Figura 3) mostram que as plantas do tratamento T1 encontravam-se em estresse térmico durante a semana que foi realizada a avaliação, culminando em elevado acúmulo de H₂O₂ e maior abertura dos estômatos, objetivando desta forma, o controle da temperatura foliar. No mais, foi constatado que prolongar as aplicações até o final do ciclo favorece a abertura dos estômatos.

As plantas apresentaram maior taxa de assimilação de CO₂ no tratamento T6 aos 68 DAT (Figura 9B). Mas, essa maior taxa de assimilação de carbono no tratamento T6, não promoveu uma maior produção (Tabela 3). Sobre isso, Lino (2011) enfatiza que as maiores taxas fotossintéticas nem sempre estão relacionadas com elevada produtividade, sendo resultado de uma série de fatores e as relações entre eles, como por exemplo, a relação fonte dreno, genética e condições ambientais.

Figura 10 - Variáveis de trocas gasosas em folhas de tomateiro híbrido Santy avaliadas aos 53 e 68 dias após transplante com aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais. (A) eficiência de carboxilação (A/C_i), (B) taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e (C) eficiência do uso da água (A/E , μmolCO_2 ($\text{mmol H}_2\text{O}$) $^{-1}$). Experimento I. São Manuel-SP, 2016.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de avaliação pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

As avaliações aos 68 DAT resultaram em maior concentração interna de CO₂ nos tratamentos T1 e T8 (Figura 9C). Esse maior acúmulo no tratamento T1 advém da maior abertura estomática nesse período (Figura 9A). No geral, o avanço das aplicações culminou em aumento da concentração interna de carbono quando se utilizou a menor e maior dose dos micronutrientes combinada a dose dos reguladores vegetais. É importante ressaltar que, altas concentrações de CO₂ na câmara subestomática pode resultar em baixas taxas fotossintéticas em razão da não incorporação dessa molécula no ciclo de Calvin pela queda na atividade da enzima Rubisco.

Nesse período, essa enzima mostrou máxima atividade no tratamento T6 (Figura 10A). Eventualmente, as plantas desse tratamento foram favorecidas pela assimilação de carbono, todavia, apesar da correlação positiva entre a captação de CO₂ e eficiência de carboxilação esse tratamento apresentou queda na produção (Tabela 3).

Os resultados obtidos aos 68 DAT mostram maior consumo de água no tratamento controle e nas plantas dos tratamentos T6 e T8, constituídos de seis aplicações (Figura 10B). De modo geral, foi observado que prosseguir com as aplicações de micronutrientes e reguladores vegetais durante o desenvolvimento do tomateiro, intensifica a transpiração como ocorre com as plantas do tratamento controle.

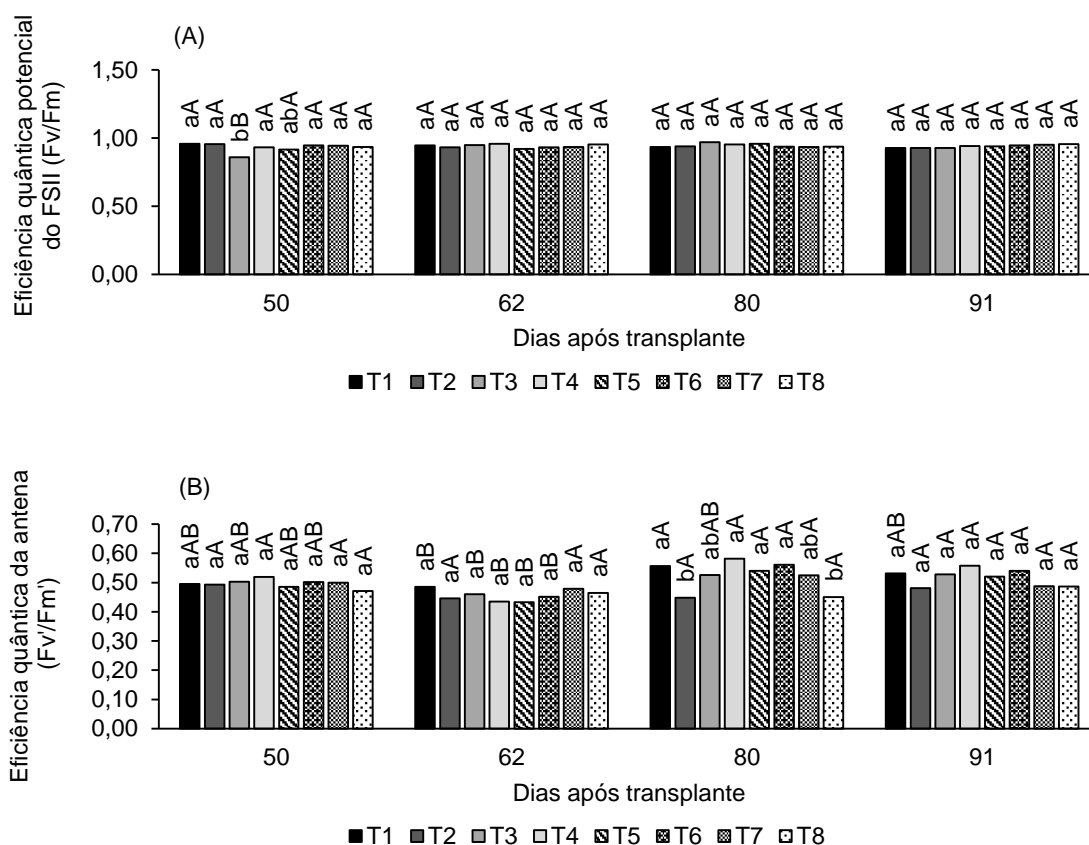
A redução do consumo de água pelo tomateiro foi observada apenas com o uso da menor dose dos micronutrientes (0,5 L ha⁻¹) pulverizado com a mistura da dose dos reguladores vegetais (0,5 L ha⁻¹) até a primeira colheita dos frutos (T3) (Figura 10C). Esse efeito pode ser devido à menor abertura estomática e redução da taxa transpiratória aos 68 DAT (Figura 9A, 10B). Contudo, apesar da eficiência do uso da água incidir na produção de matéria seca, esse tratamento apresentou queda percentual de 27,82% na produtividade estimada de frutos em relação as plantas controle (Tabela 3).

1.3.2.2 Experimento II

A fluorescência da clorofila *a* é uma ferramenta de suma importância na compreensão do funcionamento do aparato fotossintético, por esse motivo é primordial a análise da fluorescência da clorofila *a*, em conjunto com as trocas

gasosas, afim de discorrer com a menor margem de erro sobre os processos que envolvem a fase fotoquímica e bioquímica da planta. Nesse cenário, o efeito das épocas em cada tratamento e a resposta dos tratamentos dentro de cada época não apontaram diferença estatística para os resultados da eficiência quântica potencial do FSII representada pela razão Fv/Fm (Figura 11A).

Figura 11 - Fluorescência da clorofila *a* em folhas de tomateiro híbrido Santy avaliadas aos 50, 62, 80 e 91 dias após transplante com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. (A) eficiência quântica potencial do FSII (Fv/Fm) e (B) eficiência quântica da antena (Fv'/Fm'). Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de avaliação pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **T1=** Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

A literatura afirma que quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, os valores variam entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum⁻¹ (REIS e CAMPOSTRINI, 2008; SANTOS et al., 2010; SUASSUNA et al., 2010). Baseado nessa afirmação, os

resultados do presente estudo indicam que as plantas encontravam-se com o aparato fotossintético em adequado estado fisiológico. Assim, o grau de estresse ao tomateiro que culminou na resposta enzimática não resultou em danos ao aparelho fotossintético.

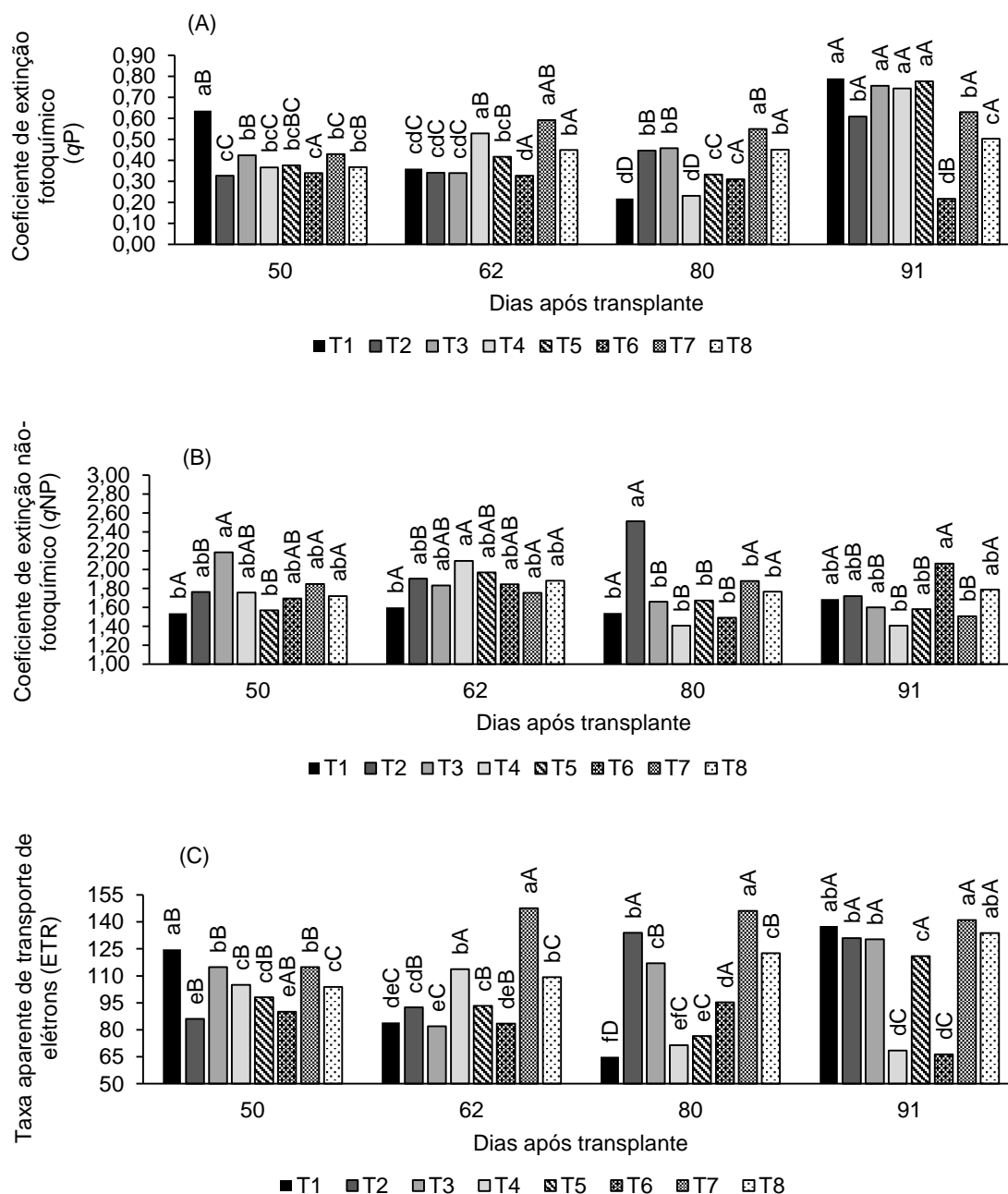
Os resultados para eficiência quântica da antena (Fv'/Fm') foram mais expressivos aos 50, 80 e 91 DAT, porém, o comportamento dos tratamentos em cada época estudada, apresentou diferença somente aos 80 DAT (Figura 11B). Nesse caso, o tratamento controle desencadeou maior eficiência que os tratamentos T2 e T8, expondo a essencialidade do cobalto e molibdênio em conjunto com os reguladores vegetais na concentração e época ideal às necessidades fisiológicas do tomateiro. Analisando apenas os tratamentos com a mistura de micronutrientes e reguladores vegetais, a única diferença constatada ocorreu com o uso da maior dose de cobalto e molibdênio em combinação com a dose aplicada dos reguladores vegetais, no qual o tratamento T5 favoreceu o tomateiro em 16,67% na captação de luz em relação ao T8.

O desdobramento da interação do efeito das épocas em cada tratamento mostrou que os valores de coeficiente de extinção fotoquímico (qP) caracterizado como a quantidade de energia de ativação capturada pelos centros de reação (FRANCO et al., 2012), foram elevados aos 91 DAT, resposta fundamentada pela época de maior produção de frutos, em razão dessa variável retratar o metabolismo fotossintético do carbono (Figura 12A). Em contrapartida, os tratamentos para o coeficiente de extinção não fotoquímico (qNP) descrito como mecanismo de dissipação de calor que age na defesa contra danos oxidativos e excesso de luz (FRANCO et al., 2012) apresentaram maior relevância aos 50 e 62 DAT (Figura 12B). Já a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) mostrou que 50% dos tratamentos foram mais expressivos para esse parâmetro aos 91 DAT (Figura 12C).

A resposta para os tratamentos em cada época exibiu maior qP no tratamento controle aos 50 DAT, agrupando esse tratamento dentre os que apresentaram menor valor de qNP e, conseqüentemente, maior taxa de transporte de elétrons nesse período (Figuras 12A, 12B e 12C).

Verificando a resposta entre os dois grupos de aplicações aos 50 DAT, apenas a menor dose dos micronutrientes pulverizados com $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ dos reguladores vegetais apresentou diferença estatística na efetividade de qP , com redução percentual de 19,05% em relação ao dobro das aplicações (Figura 12A).

Figura 12 - Fluorescência da clorofila a em folhas de tomateiro híbrido Santy avaliadas aos 50, 62, 80 e 91 dias após transplante com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. (A) coeficiente de extinção fotoquímico (qP), (B) coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP) e (C) taxa aparente de transporte de elétrons (ETR). Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de avaliação pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Os resultados de qNP constatados no tratamento T5 indicam que provavelmente a energia dissipada pelas plantas desse tratamento foi utilizada para a produção de ATP e NADPH no ciclo metabólico que origina os carboidratos (Figura 12B). Apesar do decréscimo de 14,65% constatado na transferência de elétrons, os dados de produtividade do tratamento T5 possibilitam afirmar que essa queda não afetou a produção de frutos, com aumento de 23,42% em relação ao tratamento T3 (Tabela 5, Figuras 12C).

As plantas tratadas com a dose intermediária de cobalto e molibdênio associada a dose utilizada dos reguladores vegetais na fase relativa à formação dos primeiros cachos exibiram maior valor de qP , seja com três ou seis aplicações (T4 e T7), oposto ao tratamento controle que apresentou em conjunto com os tratamentos T2, T3 e T6 declínio dessa variável (Figura 12A). O tratamento controle foi ainda similar ao tratamento T5 aos 62 DAT.

Os índices de qNP nesse período não denotaram oscilação entre os tratamentos; nesse caso, a diferença constatada foi apenas entre o tratamento controle com o uso da dose intermediária dos micronutrientes em combinação com a mistura dos reguladores vegetais com três aplicações (Figura 12B). De modo geral, a correlação entre qP e qNP é inversamente proporcional, no entanto, não foi possível discutir com exatidão em todos os tratamentos esse sinergismo fisiológico. Pelo fato do tomateiro ser totalmente dependente da temperatura e radiação solar, com certeza, a presença desses fenômenos no ambiente influenciou nessa relação.

Pela análise de ETR , nota-se que o decréscimo de qP nos tratamentos T1, T2, T3 e T6 aos 62 DAT culminou em menor fluxo de elétrons na cadeia responsável pelo transporte dessas partículas (Figuras 12A e 12C). Nessa fase o tratamento T7 apresentou maior taxa no transporte de elétrons. Explorando apenas os tratamentos contendo os micronutrientes aplicados com os reguladores vegetais, constatou-se que o uso da dose intermediária e superior da mistura desses compostos com o dobro de aplicações favoreceu o transporte de elétrons entre os fotossistema II e I, porém, como tem sido observado nas plantas do tratamento T5, esse comportamento não prejudicou o rendimento produtivo (Tabela 5).

Mediante os valores de qP foi constatado que aos 80 DAT a energia luminosa foi mais absorvida pelas plantas do tratamento T7, favorecendo a taxa aparente de transporte de elétrons (Figuras 12A e 12C). Os resultados de qP para as plantas dos tratamentos T1 e T4 sugerem que a energia luminosa que seria convertida em

energia química foi perdida na forma de fluorescência, o que resultou em declínio na transferência de elétrons entre os dois fotossistemas responsáveis por esse transporte, impactando negativamente na produtividade final (Tabela 5).

Quanto à dissipação de energia foi observado que aos 80 DAT os valores de qNP entre os tratamentos foram similares, exceto no tratamento T2 com intensidade de extinção não fotoquímico elevada, revelando possíveis danos oxidativos. Esse aumento sinaliza proteção ao aparato fotossintético, pois pelos dados de produtividade, esse excesso de energia parece ter sido dissipada pelo ciclo das xantofilas, processo que evitou a fotoinibição e protegeu o fotossistema II, assegurando o transporte de elétrons e, conseqüentemente, a produção de ATP e NADPH, com reflexo na produção final de frutos (Tabela 5, Figuras 12A, 12B e 12C).

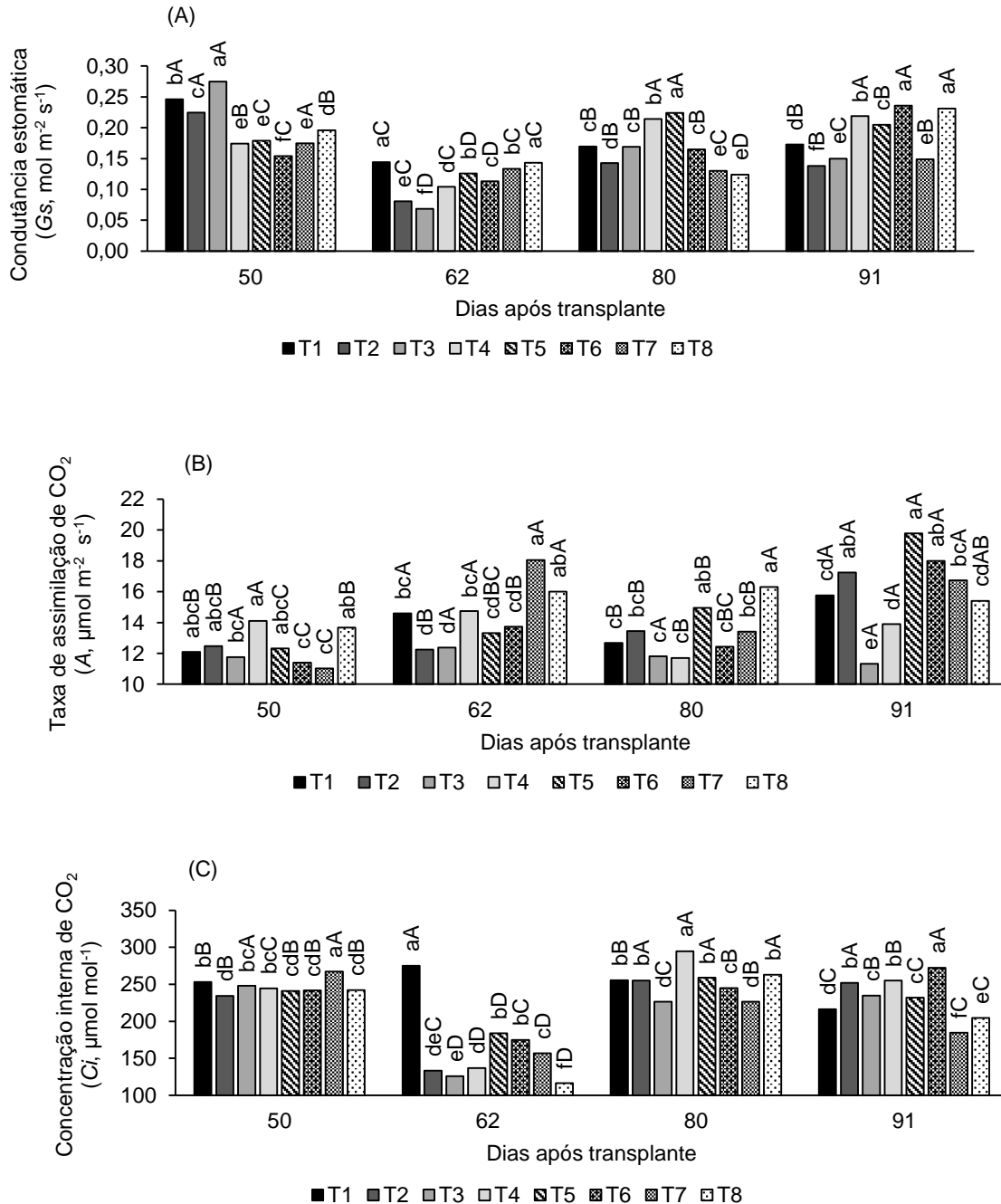
As aplicações até a primeira colheita dos frutos ou até a última apresentaram diferença estatística aos 91 DAT para o índice qP (Figura 12A). As plantas tratadas com três aplicações mostraram valores mais elevados, assim como o tratamento controle. A aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais não afetou o índice qNP , todos os tratamentos foram semelhantes ao controle para essa variável (Figura 12B).

O uso da dose intermediária (1 L ha^{-1}) e da maior dose de cobalto e molibdênio (2 L ha^{-1}) aplicado com a mistura de auxina, giberelina e citocinina ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$) reduziu a taxa aparente de transporte de elétrons nas plantas tratadas até a primeira colheita dos frutos (T4 e T5). Nesse caso, a presença das espécies reativas de oxigênio afetou a transferência de elétrons entre os dois fotossistemas e, conseqüentemente, o aparato fotossintético; principalmente, nas plantas do tratamento T4, no qual foi observado redução na produção de frutos (Tabela 5, Figura 12C).

O desdobramento do efeito da interação das épocas em cada tratamento para condutância estomática acarretou em variação nos resultados (Figura 13A). Foi constatado maior abertura dos estômatos aos 50, 80 e 91 DAT. Se observa no entanto, que essa variação da condutância não influenciou na assimilação de CO_2 , visto que a maior fixação de carbono para a maioria dos tratamentos ocorreu aos 62 e 91 DAT, esse último compatível com a maior produção de frutos (Figura 13B).

Verificando o efeito dos tratamentos em cada época foi notada maior condutância estomática aos 50 DAT no tratamento T3, seguido do tratamento controle (Figura 13A).

Figura 13 - Trocas gasosas em folhas de tomateiro híbrido Santy avaliadas aos 50, 62, 80 e 91 dias após transplante com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. (A) condutância estomática (g_s , mol m⁻² s⁻¹), (B) taxa de assimilação de CO₂ (A, μmol m⁻² s⁻¹) e (C) concentração interna de CO₂ (C_i, μmol mol⁻¹). Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de avaliação pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

A resposta das plantas ao mecanismo estomático reflete na taxa de assimilação de CO₂, porém, verifica-se que a maior abertura estomática nos tratamentos T3 e controle não refletiu numa maior assimilação de CO₂ (Figura 13B).

Fisiologicamente, o ideal para otimizar o processo de produção é que haja um balanço entre a condutância estomática e assimilação de CO₂, pois segundo Pereira – Netto et al. (2002) o uso mais eficiente da água está diretamente atrelado ao tempo de abertura estomática, nesse caso, enquanto a planta absorve CO₂ para a fotossíntese, a água é perdida para o ambiente por evapotranspiração, seguindo uma corrente de potenciais hídricos. Contudo, não foi constatada essa relação em todos os tratamentos, com efeito reduzido na produtividade, à exceção do tratamento T5.

Quanto a concentração interna de CO₂, os tratamentos foram mais significativos aos 50, 80 e 91 DAT, como observado para condutância estomática.

Na primeira avaliação fisiológica aos 50 DAT, o acúmulo dessa molécula foi maior no tratamento T7 (Figura 13C). Houve aumento percentual de 9,31% na concentração de carbono quando foi aplicada a dose intermediária da mistura dos micronutrientes com os reguladores vegetais combinada ao máximo de aplicações.

Já aos 62 DAT as plantas do tratamento controle apresentaram maior concentração interna de CO₂ devido à baixa eficiência da enzima Rubisco (Figuras 13C e 14A).

A efetividade da enzima Rubisco de forma geral foi mais expressiva para os tratamentos aos 62 DAT (Figura 14A). A eficiência de carboxilação aos 50 DAT não apresentou correlação para maior parte dos tratamentos com os dados de assimilação e concentração interna de CO₂, o que seria mais condizente pelo fato dessa variável ser advinda da relação entre esses dois parâmetros fisiológicos. A menor eficiência da Rubisco foi verificada no tratamento T7, em razão da baixa assimilação de carbono e elevada concentração de CO₂ nesse período (Figuras 13B e 13C). A eficiência de carboxilação deste tratamento foi similar ao T1, T3, T5 e T6, no entanto, as plantas do tratamento T5 apresentaram incremento na produtividade de frutos (Tabela 5).

A taxa transpiratória foi mais intensa nas plantas de tomateiro aos 50 e 91 DAT. A perda de água foi mais acentuada nas plantas do tratamento controle, proporcional ao tratamento T7 aos 50 DAT, conseqüentemente, reduzindo a eficiência do uso da água (Figuras 14B e 14C). O menor grau transpiratório foi

constatado no tratamento T3 que, conseqüentemente, resultou em elevada economia de água aos 50 e 80 DAT, aumentando a eficiência de uso da água.

Na avaliação subsequente, o tratamento controle apresentou maior condutância estomática, com resposta análoga ao T8 (Figura 13A). Os tratamentos com três aplicações foram responsáveis pela menor abertura dos estômatos aos 62 DAT em comparação ao dobro de aplicações.

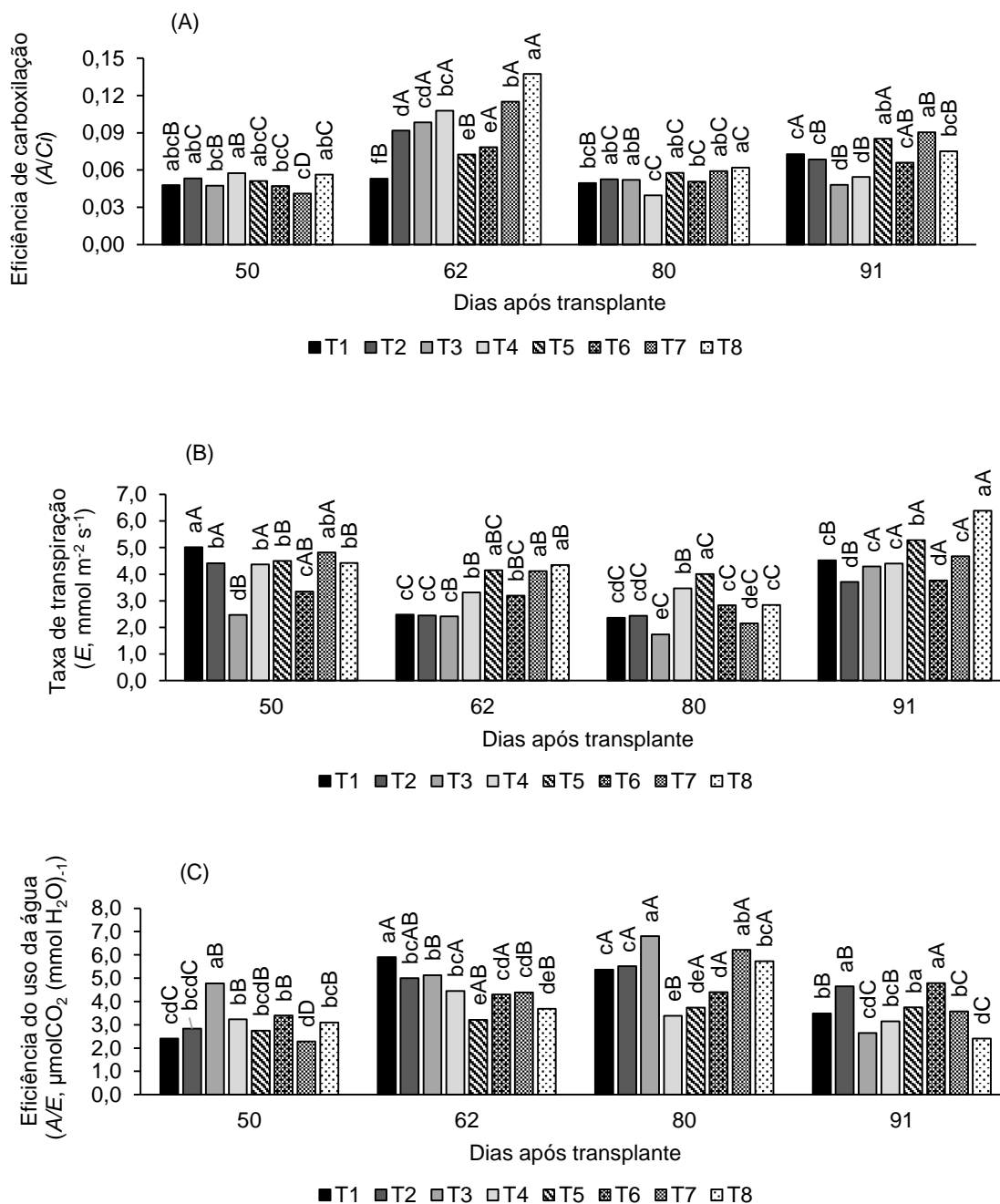
O desempenho da enzima Rubisco nos tratamentos T1 e T8 aos 62 DAT revelou a interdependência existente entre a eficiência de carboxilação com a concentração interna de CO₂, pois a medida que as plantas do tratamento controle concentraram mais carbono na câmara subestomática, nas do tratamento T8 houve redução dessa molécula (Figura 13C), o que acarretou em baixa e alta eficiência da Rubisco nos tratamentos T1 e T8, respectivamente (Figura 14A).

O tratamento controle juntamente com os tratamentos T2 e T3 foram responsáveis pela perda de água em menor nível que os demais tratamentos aos 62 DAT, o que beneficiou esses tratamentos numa maior economia de água nessa avaliação (Figuras 14B e 14C). O efeito decorrente de três e seis aplicações, com o uso da menor dose (0,5 L ha⁻¹) e da dose intermediária (1 L ha⁻¹) dos micronutrientes aplicados simultaneamente com 0,5 L ha⁻¹ dos reguladores vegetais restringiram o grau de transpiração nas plantas tratadas até a primeira colheita dos frutos. Porém, a maior dose apresentou o mesmo efeito quando as aplicações transcorreram até o final do ciclo, tanto para o índice de transpiração como para a eficiência do uso da água.

As modificações nas células guardas decorridas da terceira avaliação apontaram maior abertura dos estômatos nas plantas pulverizadas com a maior dose de cobalto e molibdênio (2,0 L ha⁻¹) em conjunto com a dose dos reguladores vegetais até a primeira colheita dos frutos, favorecendo o tratamento T5 na assimilação de CO₂ aos 80 DAT (Figuras 13A e 13B). A proporção de CO₂ assimilada pelo tratamento T5 foi ainda proporcional aos tratamentos T2, T7 e T8, os quais foram eficientes por manter os estômatos mais fechados, ao mesmo tempo que, captaram quantidade de CO₂ considerável; entretanto, a fixação dessa molécula não otimizou a produção nos tratamentos T7 e T8 (Tabela 5).

Em relação à concentração interna de CO₂, o tratamento T4 inserido no conjunto de plantas com três aplicações resultou em maior concentração de carbono dentre todos os tratamentos avaliados aos 80 DAT.

Figura 14 - Trocas gasosas em folhas de tomateiro híbrido Santy avaliadas aos 50, 62, 80 e 91 dias após transplante com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. (A) eficiência de carboxilação (A/C_i), (B) taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e (C) eficiência do uso da água (A/E , μmolCO_2 ($\text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$)). Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparam os tratamentos e maiúscula as épocas de avaliação pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Houve baixa concentração de CO₂ nos tratamentos T3, T6 e T7, favorecendo as plantas no processo de carboxilação, oposto ao tratamento T4, o qual limitou a taxa fotossintética, resultando em maior perda de produção que o tratamento T2 e T8 (Tabela 5, Figuras 13B, 13C e 14A).

As medidas de trocas gasosas realizadas aos 80 DAT mostraram excesso de transpiração no tratamento T5, ocasionada pela maior abertura estomática nesse período, mas com impacto positivo na assimilação de CO₂ (Figuras 13A, 13B e 14B). Apesar disso, essa alta taxa transpiratória reduziu a eficiência das plantas na retenção de água durante a produção de matéria seca, porém, as etapas de carboxilação, redução e regeneração da ribulose 1,5-bifosfato (RuBP) com certeza contribuíram para que a molécula de CO₂ fixada fosse reduzida em carboidratos no ciclo de Calvin, substrato importante no desenvolvimento vegetal (Tabela 5, Figuras 14A, 14B e 14C).

No pico de produção, a abertura estomática foi mais elevada nas plantas dos tratamentos com o uso da menor e maior dose dos micronutrientes em associação com dosagem dos reguladores vegetais com seis aplicações (T6 e T8) (Figura 13A). Para a assimilação de CO₂ o tratamento T5 foi mais eficiente na absorção de carbono, com resposta semelhante aos tratamentos T2 e T6 (Figura 13B).

Porventura, o menor acúmulo de CO₂ na câmara subestomática está relacionado a maior captura dessa molécula pela ação da enzima Rubisco. Assim, aos 91 DAT o tratamento T7 apresentou eficiência máxima da Rubisco, resultado paralelo ao T5, no entanto, a eficiência de carboxilação não favoreceu as plantas do tratamento T7 na produção de frutos, enquanto no T5 a atividade da Rubisco promoveu aumento na produtividade de frutos (Tabela 5, Figura 14A).

Aos 91 DAT, os tratamentos T2 e T6 exibiram baixa taxa transpiratória, contrapondo o tratamento T8 com elevada perda de água, resultados em conformidade com a efetividade hídrica das plantas (Figuras 14B e 14C).

Com relação as plantas que receberam três ou seis aplicações dos tratamentos, observou-se diferença estatística apenas com o uso da menor e maior dose dos micronutrientes combinado a dose aplicada dos reguladores vegetais.

Nesse cenário, o tratamento T6 reduziu em 12,35% a transpiração estomática, favorecendo as plantas desse tratamento em 81,44% no racionamento de água. O oposto ocorreu com o uso da dose total, visto que o percentual de perda

de água no tratamento T8 foi de 21,02%, com redução de 35,73% na eficiência do uso da água.

1.3.3 Variáveis de produção

1.3.3.1 Experimento I

No que se refere à produção total de frutos, o tratamento controle (T1), foi estatisticamente semelhante ao T2, T4, T5 e T7 os quais apresentaram os maiores valores em produção total (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios para produção total de frutos (PTF - kg planta⁻¹), produção de frutos comerciais (PFC - kg planta⁻¹), produção de frutos não comerciais (PFNC - kg planta⁻¹), produtividade (PROD - ton ha⁻¹) e massa média de frutos comerciais (MMFC - kg fruto⁻¹) de tomateiro híbrido Santy com aplicação micronutrientes e reguladores vegetais. São Manuel -SP, 2016.

EXPERIMENTO I – 2016					
TRAT	PTF kg planta ⁻¹	PFC kg planta ⁻¹	PFNC kg planta ⁻¹	PROD ton ha ⁻¹	MMFC kg fruto ⁻¹
T1	5,89ab	5,30a	0,59bcd	63,13a	0,243a
T2	6,35a	5,63a	0,72ab	67,00a	0,231ab
T3	4,33d	3,83c	0,67abc	45,57c	0,175e
T4	5,89ab	5,42a	0,47de	64,50a	0,207bcd
T5	6,22a	5,56a	0,66abc	66,13a	0,227abc
T6	5,09c	4,69b	0,40e	55,80b	0,200de
T7	5,35bc	4,81b	0,54cde	57,20b	0,208bcd
T8	4,96c	4,16c	0,81a	49,53c	0,205cd
F	34,64*	48,56*	19,01*	48,04*	18,40*
C.V (%)	3,71	3,38	8,70	3,40	4,05

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5% de probabilidade. **T1=** Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

Considerando o efeito entre os dois grupos de aplicações, constatou-se que o uso da menor dose de cobalto e molibdênio combinada aos reguladores vegetais quando ministrada seis vezes aumentou em 17,55% (T6) a produção total de frutos em comparação a mesma dose com apenas três aplicações (T3). Em contrapartida, o uso da maior dose aplicada até o final do ciclo reduziu em 20,26% o total de frutos produzidos (T8) (Tabela 3). Estes resultados evidenciam a importância da aplicação da dose correta a fim de aprimorar a absorção e eficiência de micronutrientes combinados aos reguladores vegetais, favorecendo a produtividade.

A produção de frutos comerciais é resultante da produção total, o que justifica os resultados para o tratamento T1, com valores aproximados dos tratamentos T2, T4 e T5, os quais foram responsáveis por agregarem maior valor comercial aos frutos (Tabela 3). Esta correlação também foi observada entre as plantas que receberam três e seis aplicações, visto que a menor dose dos micronutrientes combinada com 0,5 L ha⁻¹ dos reguladores vegetais foi mais expressiva com o dobro de aplicações, assim como notado na produção total de frutos (T6). Para esta variável, a maior dose da mistura desses compostos (Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt) aplicada até a última colheita dos frutos também reduziu a produção de frutos viáveis para a comercialização (T8), indicando que altas concentrações de cobalto tende a inibir a produção de etileno a níveis prejudiciais a planta, em virtude da importância desse hormônio no desenvolvimento e amadurecimento do fruto.

Entre os dois grupos de aplicações constatou-se que o tratamento T3 responsável pela menor produção de frutos comercializáveis foi, conseqüentemente, o que favoreceu a maior produção de frutos inviáveis para o mercado, com perda de 40,30% comparado ao tratamento composto da mesma dose, mas com as aplicações decorridas até a última colheita dos frutos (T6) (Tabela 3).

Na avaliação da produtividade estimada os tratamentos T1, T2, T4 e T5 apresentaram os maiores índices produtivos (Tabela 3). O comparativo entre três e seis aplicações mostraram que a menor dose dos micronutrientes (0,5 L ha⁻¹) pulverizados simultaneamente com os reguladores vegetais (0,5 L ha⁻¹) apenas três vezes não foi suficiente para aumentar a produtividade (T3), porém, quando aplicado essa mesma dose até o fim do ciclo a produtividade aumentou (T6). O uso da dose intermediária dessa mistura quando utilizada até a última colheita dos frutos resultou em queda de produtividade (T7), resposta observada também na maior dose (T8). Os resultados indicam que a pulverização dos reguladores vegetais de forma isolada ou combinada a dose e época de aplicação correta com os micronutrientes diminui o fluxo de etileno no tomateiro e, conseqüentemente a abscisão de frutos, com impacto na produtividade.

Para a massa média de frutos comerciais, verificou-se que o tratamento controle (T1) produziu frutos com massa semelhante aos tratamentos T2 e T5 (Tabela 3). A dose intermediária (T4) e superior (T5) de cobalto e molibdênio aplicado com a dose da mistura de auxina, giberelina e citocinina três vezes durante o desenvolvimento das plantas foi mais eficiente na translocação de assimilados,

resultando em frutos de maior massa em relação ao tratamento T3. Com seis aplicações as plantas apresentaram o mesmo comportamento, com variação de massa entre 0,200 e 0,208 kg fruto⁻¹. No geral, não foi verificada diferença estatística entre as doses ministradas três e seis vezes sob o tomateiro. É notável que o efeito destas substâncias na plasticidade da parede celular e posterior crescimento dos frutos é dependente do balanço hormonal, principalmente, em culturas de interesse comercial como o tomateiro.

O tratamento controle (T1) apresentou em número total de frutos a mesma quantidade dos tratamentos T3, T6, T7 e T8 (Tabela 4). O tratamento controle quanto à massa média de frutos comerciais se enquadrou no grupo dos tratamentos que apresentaram maior massa. Mas, apresentou quantidade de frutos totais inferior aos tratamentos T2, T4 e T5, mostrando que não houve correlação entre a massa de frutos comerciais e o número total de frutos. Houve diferença estatística entre os grupos de aplicações apenas entre a dose intermediária da mistura dos micronutrientes com os reguladores vegetais (T4 e T7), com maior número de frutos na dose aplicada até a primeira colheita dos frutos.

Tabela 4 - Valores médios do número total de frutos (NTF - número de frutos planta⁻¹), número de frutos comerciais (NFC - número de frutos planta⁻¹), número de frutos não comerciais (NFNC - número de frutos planta⁻¹), porcentagem de frutos comerciais (FC - % frutos planta⁻¹) e porcentagem de frutos não comerciais (FNC- % frutos planta⁻¹) de tomateiro híbrido Santy com aplicação micronutrientes e reguladores vegetais. São Manuel -SP, 2016.

EXPERIMENTO I – 2016					
TRAT	NTF nº planta ⁻¹	NFC nº planta ⁻¹	NFNC nº planta ⁻¹	FC %	FNC %
T1	25,23c	21,83bc	3,40c	86,50a	13,50b
T2	28,83ab	24,37ab	4,47bc	84,53a	15,47b
T3	26,40bc	21,90bc	4,50b	82,90a	17,10b
T4	30,73a	26,27a	4,46bc	85,47a	14,53b
T5	29,03ab	24,53ab	4,50b	84,50a	15,50b
T6	27,83abc	23,50abc	4,33bc	84,57a	15,43b
T7	26,50bc	23,13abc	3,40c	87,27a	12,73b
T8	27,43abc	20,40c	7,03a	74,27b	25,73a
F	6,26*	6,99*	27,43*	20,58*	20,58*
C.V (%)	4,37	5,22	8,25	1,85	9,54

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *= significativo a 5% de probabilidade. **T1=** Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio

O número de frutos comerciais apresentou pouca variação entre os tratamentos, nessas circunstâncias, o T4 produziu maior quantidade de frutos comercializáveis em comparação ao controle (Tabela 4). O tratamento na maior dose dos micronutrientes combinado a dose dos reguladores vegetais com o menor número de pulverizações (T5) contribuiu para aumentar o número de frutos comerciais em relação ao T8. Em resposta ao número de frutos comerciais o tratamento T8 apresentou maior descarte de frutos.

Não houve diferença estatística para porcentagem de frutos comerciais entre os tratamentos do T1 ao T7, tendo estes diferido estatisticamente do tratamento T8, o qual apresentou restrição no processo de comercialização (Tabela 4). Em decorrência disso, os resultados para porcentagem de frutos não comerciais resultou em resposta similar. Assim, as aplicações dos tratamentos até o final do ciclo na maior dose dos micronutrientes combinado a dose dos reguladores vegetais pode acarretar em aumento de custos para o produtor e reduzir a produção de frutos comerciais.

1.3.3.2 Experimento II

Para a produção total de frutos, os tratamentos T3 e T4 foram semelhantes ao tratamento controle. Foi observada maior produção nas plantas tratadas somente com os reguladores vegetais, seguida do tratamento T5 (Tabela 5). Com três e seis aplicações, o tratamento T3 reduziu o total de frutos produzidos, enquanto com a dose intermediária e superior dos micronutrientes associada a 0,5 L ha⁻¹ dos reguladores vegetais o comportamento foi padrão.

Do ponto de vista comercial (Tabela 5) a menor produção foi constatada no tratamento controle (T1), em contrapartida o tratamento T5 apresentou maior desempenho produtivo (5,47 kg planta⁻¹), seguido do tratamento com a mistura de auxina, giberelina e citocinina (T2 - 5,16 kg planta⁻¹). A mistura de cobalto e molibdênio combinada com auxina, giberelina e citocinina atuam nos órgãos vegetais desde o desenvolvimento da cultura até a produção, permitindo que a planta expresse todo seu potencial genético.

Foi constatada maior produção de frutos não comerciais nos tratamentos T1, T2, T6 e T8 (Tabela 5). Verificou-se que o avanço das aplicações provocou aumento

de 37,50% na produção de frutos deteriorados com o uso da menor dose da mistura dos micronutrientes com os reguladores vegetais.

Como a produtividade por hectare é resultante da produção de frutos comerciais por planta, o tratamento T5 foi aquele que apresentou maior produção de frutos em ton ha⁻¹ (Tabela 5). As condições climáticas foram determinantes para os resultados constatados no experimento II, uma vez que os tratamentos não promoveram aumento de produtividade no experimento I, conduzido entre novembro de 2016 à fevereiro de 2017, em que o período de florescimento e frutificação sobreveio em condições de altas temperaturas, associado a chuvas e, conseqüentemente, umidade. Já o experimento II, foi conduzido de setembro à dezembro de 2017, no qual a fase de florescimento e frutificação ocorreram em condições de temperaturas mais amenas e com menos chuvas.

Tabela 5 - Valores médios para produção total de frutos (PTF - kg planta⁻¹), produção de frutos comerciais (PFC - kg planta⁻¹), produção de frutos não comerciais (PFNC - kg planta⁻¹), produtividade (PROD - ton ha⁻¹) e massa média de frutos comerciais (MMFC- kg fruto⁻¹) de tomateiro híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. São Manuel-SP, 2017.

EXPERIMENTO II – 2017					
TRAT	PTF kg planta ⁻¹	PFC kg planta ⁻¹	PFNC kg planta ⁻¹	PROD ton ha ⁻¹	MMFC kg fruto ⁻¹
T1	5,45e	3,71e	1,74ab	61,83e	0,200d
T2	7,32a	5,16b	2,16a	86,00b	0,232b
T3	5,95de	4,43d	1,52b	73,87d	0,214bcd
T4	5,78de	4,38d	1,40b	72,93d	0,225bc
T5	6,86ab	5,47a	1,39b	91,17a	0,254a
T6	6,49bc	4,40d	2,09a	73,23d	0,216bcd
T7	6,22cd	4,78c	1,44b	79,70c	0,210cd
T8	6,52bc	4,81c	1,71ab	80,27c	0,213bcd
F	33,65*	131,89*	7,55*	131,48*	14,97*
C.V (%)	2,85	1,76	11,43	1,76	3,39

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem, significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% probabilidade. *= significativo a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

A escolha do consumidor pelo fruto é determinada por características como textura, coloração e tamanho. Assim, nota-se que a maior massa média de frutos foi constatada no tratamento T5, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 5). Nesse caso, a divisão e expansão celular foram estimuladas pela ação dos produtos aplicados, o que comprova a relevância das pulverizações

em quantidades ajustadas de cobalto e molibdênio com auxina, giberelina e citocinina às fases fenológicas da cultura.

O maior número total de frutos no tratamento T8 foi acompanhado pela redução na massa média de frutos (Tabelas 5 e 6), o que era previsto, pois quanto maior o número de frutos por planta, maior a competição por fotoassimilados, o que acarreta em frutos de menor tamanho e massa. Por meio desse resultado, observa-se que a aplicação da maior dose dos micronutrientes associada a 0,5 L ha⁻¹ da mistura dos reguladores vegetais diminui a translocação de assimilados para os frutos, mas atua positivamente na redução da abscisão foliar. Contudo, o maior número de frutos nos cachos, aumenta a incidência de distúrbios fisiológicos, pragas e severidade de doenças, o que foi constatado na queda da produção comercial.

Tabela 6 - Valores médios para número total de frutos (NTF - número de frutos planta⁻¹), número de frutos comerciais (NFC - número de frutos planta⁻¹), número de frutos não comerciais (NFNC- número de frutos planta⁻¹), porcentagem de frutos comerciais (FC - % frutos planta⁻¹) e porcentagem de frutos não comerciais (FNC- % frutos planta⁻¹) de tomateiro híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. São Manuel -SP, 2017.

EXPERIMENTO II – 2017					
TRAT	NTF nº planta ⁻¹	NFC nº planta ⁻¹	NFNC nº planta ⁻¹	FC %	FNC %
T1	26,77c	18,63c	8,13cd	69,63c	30,37a
T2	32,87a	22,20a	10,67ab	67,53c	32,47a
T3	29,10bc	20,73abc	8,40c	71,17bc	28,83ab
T4	28,13bc	19,43bc	8,67bc	69,13c	30,87a
T5	27,60bc	21,60ab	6,03d	78,23a	21,77c
T6	26,53c	20,43abc	6,10d	76,97a	23,03c
T7	30,50ab	22,80a	7,70cd	74,80ab	25,20bc
T8	33,90a	22,57a	11,33a	66,63c	33,37a
F	13,96*	9,27*	18,51*	20,01*	20,01*
C.V (%)	4,36	4,07	9,13	2,36	6,00

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *= significativo a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

O menor número de frutos comerciais foi observado no tratamento T1, no entanto, as plantas do T3, T4 e T6 foram estatisticamente iguais ao T1, apresentando frutos comercializáveis em número reduzido (Tabela 6). O número de frutos fora do padrão comercial foi maior no tratamento com a dose superior dos micronutrientes pulverizados em conjunto com os reguladores vegetais até a última

colheita dos frutos (T8), com resposta significativa as plantas tratadas somente com os reguladores vegetais (T2).

Verificou-se que o tratamento T5 representado pela maior dose de cobalto e molibdênio misturado com 0,5 L ha⁻¹ da combinação dos reguladores vegetais apresentou a maior porcentagem de frutos comerciais, seguido dos tratamentos T6 e T7 (Tabela 6). Assim, verifica-se que para a produção de frutos atribuídos às exigências do mercado consumidor, foi necessário dobrar as aplicações quando se utilizou as menores doses da combinação de cobalto e molibdênio com auxina, giberelina e citocinina.

A resposta das plantas para a porcentagem de frutos não comerciais foi maior nos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T8. Baseado nas plantas tratadas com três e seis aplicações, verificou-se que o dobro de aplicações na dose menor e na dose intermediária dos micronutrientes pulverizados juntamente com os reguladores vegetais diminuiu a incidência de frutos deteriorados (T6 e T7), contudo, o uso da dose superior dessa mistura apresentou efeito contrário (T8), além de onerar os custos com a produção.

No geral, os resultados para os parâmetros de produção evidenciam a importância dessas substâncias para a demanda metabólica do tomateiro cultivado em ambiente protegido.

1.3.4 Análise multivariada

1.3.4.1 Enzimas antioxidantes

1.3.4.1.1 Experimento I

O presente estudo traz uma contribuição no sentido de reduzir o número de variáveis a serem avaliadas agronomicamente (Tabela 7). Nesse caso, a partir da matriz de correlação entre todos os pares das variáveis bioquímicas (SOD 45, POD 45, CAT 45, H₂O₂ 45, MDA 45, SOD 60, POD 60, CAT 60, H₂O₂ 60, MDA 60, SOD 75, POD 75, CAT 75, H₂O₂ 75, MDA 75, SOD 90, POD 90, CAT 90, H₂O₂ 90 e MDA 90) foram obtidos os autovalores e seus respectivos autovetores para a análise dos componentes principais.

Tabela 7 - Loadings das componentes principais (PC) das variáveis bioquímicas. São Manuel, SP, 2016.

EXPERIMENTO I – 2016					
DAT	PC1				
	POD	SOD	CAT	MDA	H ₂ O ₂
45	7,94x10 ⁻⁴	-3,88x10 ⁻²	3,51x10 ⁻⁵	5,06x10 ⁻⁴	-1,33x10 ⁻¹
60	-1,51x10 ⁻³	-4,52x10 ⁻²	-1,76x10 ⁻⁴	-1,60x10 ⁻²	-1,54x10 ⁻¹
75	3,64x10 ⁻⁴	-3,00x10 ⁻¹	3,01x10 ⁻⁴	2,03x10 ⁻²	5,43x10 ⁻¹
90	-4,18x10 ⁻²	-6,64x10 ⁻¹	3,99x10 ⁻⁴	1,00x10 ⁻³	3,54x10 ⁻¹
DAT	PC2				
	POD	SOD	CAT	MDA	H ₂ O ₂
45	5,37x10 ⁻⁴	-1,06x10 ⁻²	-2,35x10 ⁻⁶	-3,57x10 ⁻³	-8,48x10 ⁻¹
60	1,13x10 ⁻³	2,26x10 ⁻²	-1,82x10 ⁻⁵	5,63x10 ⁻⁴	4,29x10 ⁻¹
75	9,90x10 ⁻³	-8,04x10 ⁻²	4,99x10 ⁻⁴	-3,20x10 ⁻²	1,64x10 ⁻¹
90	-4,53x10 ⁻³	2,44x10 ⁻¹	3,14x10 ⁻⁴	-1,68x10 ⁻³	8,64x10 ⁻³

POD= Peroxidase; SOD= Superóxido dismutase; CAT= Catalase; MDA= Peroxidação lipídica; H₂O₂= Peróxido de hidrogênio; DAT= Dias após transplante.

A Tabela 8 discorre sobre os agrupamentos e as respectivas porcentagens da variância explicada e acumulada dos 20 grupos que foram formados, porém, estão dispostos apenas os cinco primeiros que representaram significância mais expressiva.

Tabela 8 - Componentes principais (CP) da variância explicada e acumulada das variáveis bioquímicas. São Manuel, SP, 2016.

EXPERIMENTO I – 2016		
CP	Bioquímica	
	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
PC1	48,71	48,71
PC2	25,05	73,76
PC3	14,58	88,34
PC4	8,80	97,14
PC5	1,59	98,73

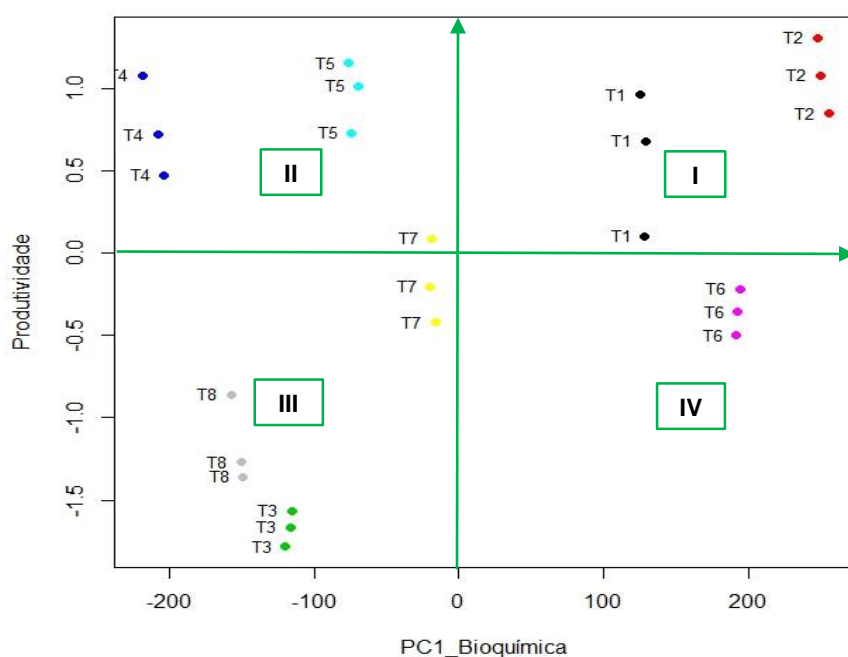
De acordo com Ribas e Vieira (2011), o objetivo da análise de componentes principais (ACP) é atingido se um número relativamente pequeno de componentes extraídos possuem a capacidade de explicar a maior parte da variabilidade nos dados originais. Nesse contexto, a ACP promoveu redução no número de variáveis bioquímicas, visto que o melhor comportamento das variáveis ocorreu com a inserção de apenas duas componentes das 20 analisadas, que em conjunto representam 73,76% da variância total.

A Tabela 7 baseada na matriz de correlação das variáveis originais descreve a contribuição das duas componentes principais em função de cada fator (*Loadings*). Na PC1_Bioquímica identificou-se que a SOD e o H₂O₂ aos 75 e 90 DAT foram os

que mais contribuíram para as respostas bioquímicas das plantas, sendo a SOD com carga negativa e o H_2O_2 com carga positiva.

Na Figura 15, através da dispersão bidimensional dos tratamentos e suas respectivas repetições foi verificado ao longo do eixo horizontal (PC1_Bioquímica) o comportamento dos tratamentos distribuídos nos quatro quadrantes. Os valores positivos para a PC1_Bioquímica nos tratamentos T1 e T2 (quadrante I) foram associados a valores positivos de produtividade (eixo vertical), isso implica em dizer que quando houve baixa atividade da SOD combinada com alta concentração de H_2O_2 aos 75 e 90 DAT a produtividade foi melhor nestes tratamentos. Já o tratamento T6 (quadrante IV) apresentou o mesmo comportamento bioquímico, contudo, com baixa produtividade.

Figura 15 - Dispersão dos escores da componente principal 1 (PC1_Bioquímica) das variáveis bioquímicas. Experimento I. São Manuel, SP, 2016.



T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

Esses resultados indicam que os níveis de H_2O_2 presente nas células do tomateiro no momento da coleta não eram considerados críticos, apesar da queda

de produtividade no tratamento T6, supostamente ocasionada pelas sucessivas aplicações dos tratamentos.

No quadrante II ficaram agrupados os tratamentos T4 e T5, apresentando alta atividade da SOD e baixo acúmulo de H_2O_2 aos 75 e 90 DAT, resultando em alta produtividade; o mesmo comportamento bioquímico foi observado nos tratamentos T3, T7 e T8 (quadrante III), porém, associado à baixa produtividade (Figura 15).

Acerca disso, pelo fato dos tratamentos T4 e T5 serem compostos de apenas três aplicações, o tomateiro durante a colheita dos primeiros frutos e posterior pico de produção acionou o sistema de defesa para evitar a produção de espécies reativas de oxigênio que se formam naturalmente nessa fase fenológica. Essa resposta adaptativa das plantas assegurou a produção de frutos nos tratamentos T4 e T5, impulsionada também pela dose da qual é constituída esses tratamentos. Já a quantidade de vezes em que foram aplicados os produtos pode ter afetado o funcionamento normal das células das plantas dos tratamentos T3, T7 e T8.

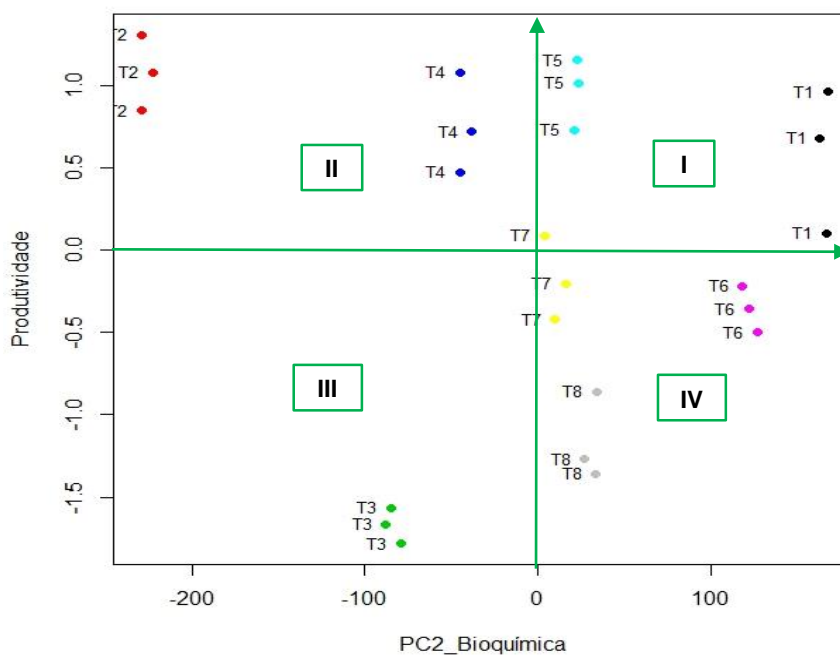
Para a análise de componentes principais é necessária uma variância de no mínimo 70%; assim, foi necessário PC2 para explicar melhor os resultados bioquímicos. Verifica-se por meio da Tabela 7, que a SOD aos 90 dias em conjunto com H_2O_2 aos 45, 60 e 75 DAT também contribuíram para a resposta enzimática e do metabolismo oxidativo do tomateiro. Nesse contexto, o H_2O_2 aos 60 e 75 DAT apresentaram carga positiva, enquanto aos 45 a carga foi negativa. Já a SOD aos 90 DAT na PC2_Bioquímica expôs carga positiva.

Pela dispersão dos escores, observa-se o comportamento dos tratamentos divididos nos quatro quadrantes (Figura 16). O eixo vertical representa a produtividade, ao passo que, no eixo horizontal encontra-se o efeito bioquímico. Foi verificado que a alta expressão da SOD aos 90 DAT vinculada a baixa produção de H_2O_2 aos 45 DAT e elevado acúmulo dessa molécula aos 60 e 75 DAT resultou em aumento produtivo nos tratamentos T1 e T5, inseridos no quadrante I com valores positivos.

As plantas dos tratamentos T1 e T5 foram favorecidas pela atividade da SOD e de certa forma, pela concentração de H_2O_2 que em quantidade ideal age como sinalizador contra danos oriundos do processo oxidativo, o que explica a dinâmica da SOD com essa molécula nesses tratamentos (Figura 16). Ao analisarmos o quadrante IV, no entanto, esse desempenho bioquímico reduziu a produtividade nas plantas dos tratamentos T6, T7 e T8, assumindo valores negativos; indicativo de que

o avanço das aplicações pode provocar alterações bioquímicas e produtivas no tomateiro.

Figura 16 - Dispersão dos escores da componente principal 2 (PC2_Bioquímica) das variáveis bioquímicas. Experimento I. São Manuel, SP, 2016.



T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

Quando o conteúdo de H₂O₂ aos 45 DAT se encontrava alto e aos 60 e 75 baixo, associado ao declínio na atividade da SOD, os tratamentos T2 e T4 agrupados no quadrante II, com valores positivos, apontaram produtividade satisfatória, revelando o papel que o cobalto e molibdênio em conjunto com as auxinas, giberelinas e citocininas exercem na planta como estratégia de manejo na otimização de flores e frutos, conforme a dose fornecida ao tomateiro (Figura 16). Embasado nesse contexto, esse comportamento bioquímico acarretou em declínio de produção nas plantas tratadas com a menor dose da combinação desses compostos aplicados três vezes durante o desenvolvimento da cultura (T3, quadrante III, valor negativo).

Nota-se através da PC1 e PC2 que as doses ministradas no tomateiro interferiram no padrão bioquímico das plantas e, conseqüentemente, na resposta produtiva. No geral, as plantas derivadas de três aplicações foram mais eficientes na produção de frutos, com exceção da menor dose dos micronutrientes associado aos reguladores vegetais (T3). Pelo resultado obtido no tratamento controle, constata-se que o maior número de aplicações ocasiona queda de produtividade (T6, T7 e T8), isso quando pulverizado em conjunto com o cobalto e molibdênio, em virtude do tratamento T2, destituído desses minerais, ter apresentado alta produtividade.

1.3.4.1.2 Experimento II

As análises bioquímicas referentes as coletas aos 3 e 7 DAA mostra que por meio da matriz de correlação entre todos os pares de variáveis (SOD 27, POD 27, CAT 27, H₂O₂ 27, MDA 27, SOD 41, POD 41, CAT 41, H₂O₂ 41, MDA 41, SOD 55, POD 55, CAT 55, H₂O₂ 55, MDA 55, SOD 69, POD 69, CAT 69, H₂O₂ 69, MDA 69, SOD 34, POD 34, CAT 34, H₂O₂ 34, MDA 34, SOD 48, POD 48, CAT 48, H₂O₂ 48, MDA 48, SOD 62, POD 62, CAT 62, H₂O₂ 62, MDA 62, SOD 76, POD 76, CAT 76, H₂O₂ 76 e MDA 76) foram obtidos os autovalores e seus respectivos autovetores para a análise dos componentes principais (Tabela 9).

Tabela 9 - Loadings das componentes principais (PC) das variáveis bioquímicas São Manuel, SP, 2017.

EXPERIMENTO II – 2017					
DAT	PC1				
	POD	SOD	CAT	MDA	H ₂ O ₂
27	5,68x10 ⁻⁴	5,68x10 ⁻¹	1,73x10 ⁻⁴	1,25x10 ⁻²	1,68x10 ⁻¹
34	-4,50x10 ⁻⁴	-4,88x10 ⁻²	3,39x10 ⁻⁵	7,63x10 ⁻⁵	1,50x10 ⁻³
41	-1,92x10 ⁻³	-1,03x10 ⁻²	-3,54x10 ⁻⁵	3,12x10 ⁻⁴	3,48x10 ⁻¹
48	-1,55x10 ⁻⁴	1,51x10 ⁻¹	-2,39x10 ⁻⁴	1,10x10 ⁻³	1,52x10 ⁻¹
55	-9,36x10 ⁻⁴	2,50x10 ⁻²	-1,21x10 ⁻⁴	-7,78x10 ⁻⁴	5,03x10 ⁻²
62	-1,73x10 ⁻²	-3,06x10 ⁻¹	2,86x10 ⁻⁵	-1,35x10 ⁻³	-1,16x10 ⁻²
69	-2,34x10 ⁻³	1,91x10 ⁻¹	5,81x10 ⁻⁴	1,59x10 ⁻²	2,84x10 ⁻¹
76	-1,81x10 ⁻³	-1,13x10 ⁻²	-3,01x10 ⁻⁵	-8,22x10 ⁻³	5,11x10 ⁻¹
DAT	PC2				
	POD	SOD	CAT	MDA	H ₂ O ₂
27	4,88x10 ⁻³	-1,52x10 ⁻¹	3,65x10 ⁻⁵	-1,07x10 ⁻²	2,89x10 ⁻¹
34	1,40x10 ⁻³	2,27x10 ⁻²	1,90x10 ⁻⁴	-1,47x10 ⁻³	1,98x10 ⁻¹
41	-5,53x10 ⁻³	-9,56x10 ⁻²	3,69x10 ⁻⁴	-1,54x10 ⁻³	7,02x10 ⁻²
48	4,09x10 ⁻⁴	-4,71x10 ⁻¹	2,63x10 ⁻⁴	-2,39x10 ⁻³	3,17x10 ⁻¹
55	-4,16x10 ⁻³	-2,52x10 ⁻¹	7,15x10 ⁻⁵	-3,81x10 ⁻³	2,62x10 ⁻¹
62	-7,01x10 ⁻³	-1,04x10 ⁻¹	-3,12x10 ⁻⁴	-2,59x10 ⁻³	1,41x10 ⁻¹
69	-1,39x10 ⁻²	-3,60x10 ⁻¹	-6,64x10 ⁻⁴	-2,19x10 ⁻²	-3,07x10 ⁻¹

	5,19x10 ⁻³	1,80x10 ⁻¹	-2,16x10 ⁻⁵	1,36x10 ⁻³	3,09x10 ⁻¹
	PC3				
DAT	POD	SOD	CAT	MDA	H ₂ O ₂
27	4,35x10 ⁻³	2,25x10 ⁻¹	1,22x10 ⁻⁴	-6,22x10 ⁻³	-1,75x10 ⁻¹
34	-2,07x10 ⁻⁵	-1,50x10 ⁻¹	1,60x10 ⁻⁵	1,44x10 ⁻³	4,67x10 ⁻¹
41	1,55x10 ⁻³	-1,88x10 ⁻¹	-4,04x10 ⁻⁵	-1,73x10 ⁻³	3,72x10 ⁻¹
48	-1,30x10 ⁻³	-1,31x10 ⁻¹	-2,45x10 ⁻⁴	-2,01x10 ⁻⁴	-3,19x10 ⁻²
55	-1,10x10 ⁻³	-1,80x10 ⁻²	2,83x10 ⁻⁵	-3,94x10 ⁻⁵	-1,70x10 ⁻¹
62	7,08x10 ⁻³	1,31x10 ⁻¹	8,39x10 ⁻⁵	8,71x10 ⁻⁴	-5,92x10 ⁻¹
69	-4,96x10 ⁻³	-8,93x10 ⁻²	-3,48x10 ⁻⁴	-2,03x10 ⁻²	-1,68x10 ⁻¹
76	1,61x10 ⁻²	8,69x10 ⁻²	3,85x10 ⁻⁴	-1,01x10 ⁻²	-2,03x10 ⁻¹

POD = Peroxidase; SOD = Superóxido dismutase; CAT = Catalase; MDA = Peroxidação lipídica; H₂O₂ = Peróxido de hidrogênio; DAT = Dias após transplante.

No experimento II a ACP promoveu redução no número de variáveis bioquímicas, visto que o melhor comportamento das variáveis ocorreu com a inclusão de 3 das 40 variáveis analisadas, que em conjunto representam 70,46% da variância total (Tabela 10).

Tabela 10 - Componentes principais (CP) da variância explicada e acumulada das variáveis bioquímicas. São Manuel, SP, 2017.

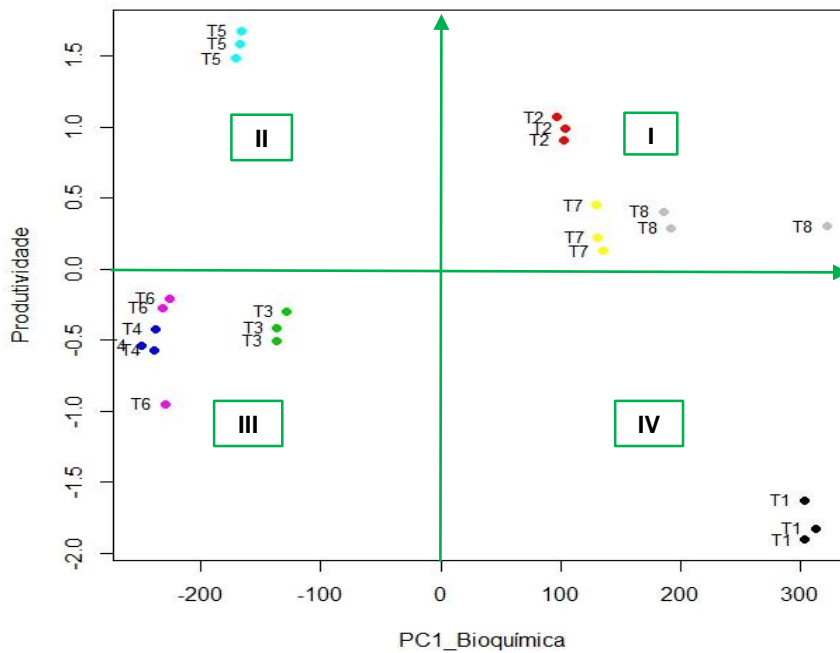
EXPERIMENTO II – 2017		
CP	Bioquímica	
	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
PC1	31,85	31,85
PC2	22,03	53,88
PC3	16,58	70,46
PC4	15,31	85,77
PC5	7,16	92,93

Na PC1_Bioquímica é possível identificar que a atividade da enzima SOD aos 27, 48, 62 e 69 DAT associada ao teor de H₂O₂ aos 27, 41, 48, 69 e 76 DAT foram os que mais colaboraram com os resultados, todos com carga positiva, exceto a avaliação da SOD 62 com valor negativo (Tabela 9).

Na Figura 17 por meio da distribuição dos tratamentos é apresentado o comportamento das plantas ao longo do eixo horizontal (PC1_Bioquímica). Quando a atividade da SOD aos 27, 48 e 69 DAT e o acúmulo de H₂O₂ aos 27, 41, 48, 69 e 76 DAT encontravam-se elevados e a atividade da SOD aos 62 DAT baixa, os tratamentos T2, T7 e T8 com valores positivos, agregaram alta produtividade de frutos. Foi averiguado que o tratamento T1 (quadrante IV, valor positivo) apresentou esse mesmo efeito bioquímico, no entanto, com queda na produtividade. Isso demonstra que as substâncias com efeito hormonal interferem de forma positiva na

catálise enzimática, mantendo o conteúdo de H_2O_2 em níveis adequados para o desenvolvimento do tomateiro.

Figura 17 - Dispersão dos escores da componente principal 1 (PC1_Bioquímica) das variáveis bioquímicas. Experimento II. São Manuel, SP, 2017.



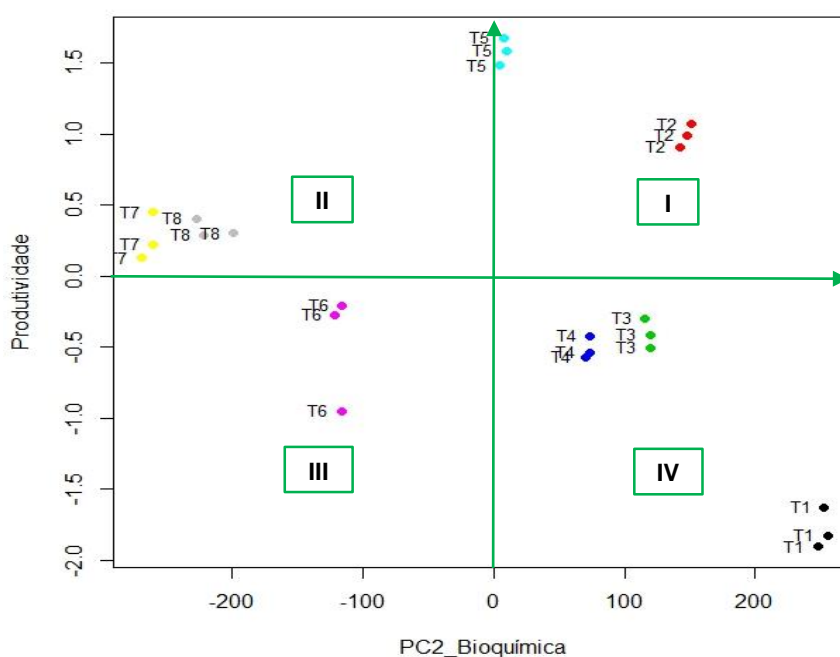
T1= Controle; **T2=** IBA + GA_3 + Kt ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($0,5 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T4=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($1 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T5=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($2 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($0,5 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T7=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($1 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T8=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($2 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA_3 =** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio

À medida que o grau de atividade da SOD aos 27, 48 e 69 DAT e o conteúdo de H_2O_2 aos 27, 41, 48, 69 e 76 DAT reduziu e a atividade da SOD aos 62 DAT aumentou, o tratamento T5 atribuído ao quadrante II, com valor negativo, apresentou aumento de produtividade (Figura 17). Esse padrão de desempenho da SOD e H_2O_2 também foi detectado nos tratamentos T3, T4 e T6, posicionados no quadrante III, com valor negativo, porém, com declínio na produtividade. Nesse caso, a queda de produção nos tratamentos T3, T4 e T6 pode ter ocorrido pela proporção da dose requerida pelas plantas, do florescimento à primeira colheita dos frutos (27 a 76 DAT), sinalizando que nesses tratamentos o suprimento ao tomateiro foi menor do que a demanda.

Através da PC2 pode-se verificar que as coletas realizadas aos 34 e 55 DAT também incidiram na resposta produtiva das plantas. De modo geral, verificou-se que a atividade da SOD aos 27, 48, 55, 69 e 76 DAT combinada ao acúmulo de H_2O_2 aos 27, 34, 48, 55, 69 e 76 DAT foram os que mais favoreceram as plantas nos parâmetros de produção (Tabela 9). Nessa conjuntura, dos 27 aos 69 DAT a atividade da SOD apresentou carga negativa, contrária a última coleta com carga positiva. As coletas para a avaliação do teor de H_2O_2 exibiram carga negativa apenas na análise aos 62 DAT, as demais foram identificadas com carga positiva.

Pela disposição dos tratamentos na Figura 18, verificou-se que quando a atividade da SOD foi baixa aos 27, 48, 55 e 69 DAT e alta aos 76 DAT, relacionado ao teor de H_2O_2 elevado aos 27, 34, 48, 55 e 76 DAT, mas com decréscimo aos 69, o tratamento T2 inserido no quadrante I, com valor positivo, apresentou boa produtividade.

Figura 18 - Dispersão dos escores da componente principal 2 (PC2_Bioquímica) das variáveis bioquímicas. Experimento II. São Manuel, SP, 2017.



T1= Controle; **T2=** IBA + GA_3 + Kt ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($0,5 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T4=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($1 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T5=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($2 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($0,5 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T7=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($1 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T8=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($2 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA_3 =** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

As plantas dos tratamentos T1, T3 e T4 reunidos no quadrante IV, também com valor positivo, produziram menos frutos quando atestado o mesmo comportamento bioquímico do tratamento T2 (Figura 18).

Como observado nos dados da PC1, os tratamentos T3 e T4 foram provavelmente prejudicados pelo balanço entre a dose da mistura dos micronutrientes com os reguladores vegetais, combinada as pulverizações até a primeira colheita dos frutos, ao passo que o tratamento T1, pela carência dessas substâncias. Em consequência desse resultado, ocorreu desequilíbrio entre a formação e posterior desintoxicação de H_2O_2 das células, o que inviabilizou a produção (Figura 18).

O papel da superóxido dismutase e peróxido de hidrogênio associados ao desempenho produtivo mostrou que os tratamentos T5, T7 e T8 agrupados no quadrante II, assumindo valor negativo, promoveram mais frutos por planta em decorrência da elevada atuação da SOD aos 27, 48, 55 e 69 DAT, acrescida ainda da baixa atividade dessa enzima aos 76 DAT. O declínio do teor de H_2O_2 aos 27, 34, 48, 55 e 76 DAT, ligado ao aumento dessa molécula aos 69 DAT também foi responsável pelos índices produtivos nesses tratamentos (Figura 18). O tratamento T6 incluso no quadrante II, com valor negativo, apresentou o mesmo efeito bioquímico dos tratamentos T5, T7 e T8, porém, o grau de atividade da SOD e o teor de H_2O_2 no tratamento T6 promoveu redução da produtividade.

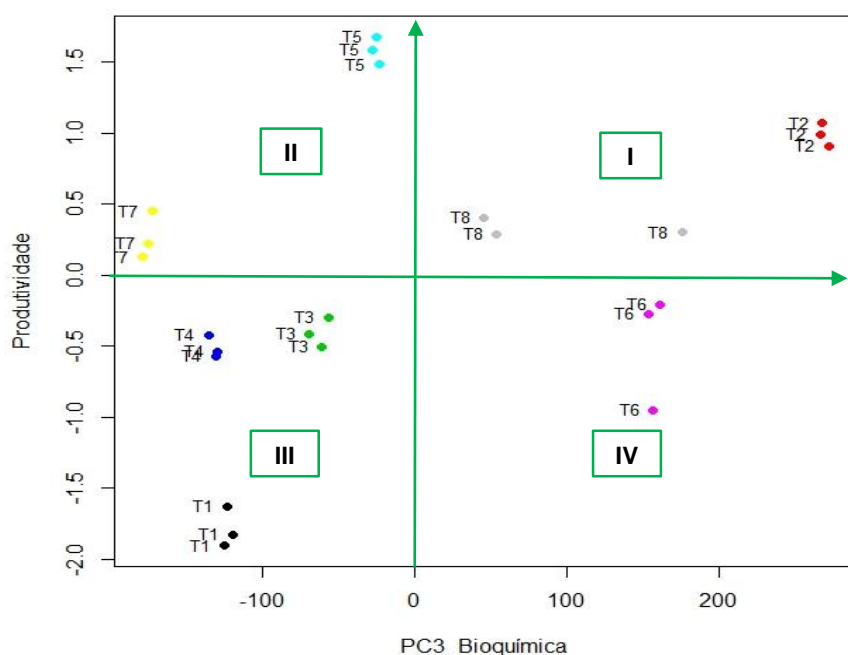
Apoiado nos dados da Tabela 9, comprovou-se que os dias de coletas identificados na PC2_Bioquímica foram os mesmos verificados para PC3 na atividade da SOD e acúmulo de H_2O_2 no meio intracelular, com discrepância apenas entre as cargas assumidas. Dessa forma, a atividade da SOD aos 27, 48, 55, 69 e 76 DAT, paralela as concentrações de H_2O_2 aos 27, 34, 48, 55, 69 e 76 DAT foram as mais relevantes para a capacidade produtiva das plantas na PC3_Bioquímica. As coletas que expressaram carga positiva foram representadas pela atividade da SOD aos 27 e 76 DAT e pelo teor de H_2O_2 aos 34 DAT. As demais datas de coletas geraram cargas negativas tanto para a SOD como para o H_2O_2 .

Na Figura 19 estão dispostos os tratamentos arranjados dentro de cada quadrante, conforme seu desempenho produtivo. A queda na atividade da SOD aos 27, 48, 55 e 69 DAT, com incremento da enzima aos 76 DAT, intercalada com a alta produção de H_2O_2 aos 27, 34, 48, 55 e 76 DAT e redução dessa molécula aos 69 DAT, contribuíram para impulsionar a produtividade nos tratamentos T2 e T8

(quadrante I, valor positivo. O comportamento enzimático e a concentração de H_2O_2 nas plantas do tratamento T6 ordenado no quadrante IV, com valor positivo, foi semelhante ao das plantas dos tratamentos T2 e T8, mas no tratamento T6 esse efeito ocasionou redução da produtividade.

As doses aplicadas nas plantas dos tratamentos T1, T3, T4, T5 e T7 organizados no quadrante II e III, com valores negativos, alteraram o comportamento da SOD e H_2O_2 . Nesses tratamentos houve acréscimo da atividade da SOD aos 27, 48, 55 e 69 DAT e redução aos 76 DAT; já o conteúdo de H_2O_2 aos 27, 34, 48, 55 e 76 DAT reduziu e aos 69 DAT aumentou (Figura 19). Essa resposta bioquímica elevou a produtividade de frutos nos tratamentos T5 e T7 e reduziu a produção nas plantas dos tratamentos T1, T3 e T4.

Figura 19 - Dispersão dos escores da componente principal 3 (PC3_Bioquímica) das variáveis bioquímicas. Experimento II. São Manuel, SP, 2017.



T1= Controle; **T2=** IBA + GA_3 + Kt ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($0,5 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T4=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($1 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T5=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($2 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($0,5 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T7=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($1 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$); **T8=** Co + Mo + IBA + GA_3 + Kt ($2 + 0,5 \text{ L ha}^{-1}$) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA_3 =** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

A diferença ocorrida entre os tratamentos na PC3_Bioquímica está relacionada à dose aplicada e a ocorrência no número de aplicações, por isso seria

interessante estudos moleculares para esclarecer quais mecanismos estão envolvidos quando há mistura dessas substâncias na atividade enzimática interferindo na produtividade do tomateiro.

1.3.4.2 Análises fisiológicas

1.3.4.2.1 Experimento I

As análises de trocas gasosas relacionadas ao experimento I apontaram 74,23% da variância total, neste caso, com apenas uma componente foi possível explicar o comportamento dos dados. Com base na matriz de correlação entre todos os pares de variáveis (A 53, g_s 53, Ci 53, E 53, A/Ci 53, EUA 53, A 68, g_s 68, Ci 68, E 68, A/Ci 68 e EUA 68), foram obtidos os autovalores e seus respectivos autovetores para a análise dos componentes principais (Tabela 11).

Tabela 11 - Loadings das componentes principais (PC) das variáveis fisiológica. São Manuel, SP, 2016.

Loadings	EXPERIMENTO I – 2016	
	PC1	
	53 DAT	68 DAT
A	$4,01 \times 10^{-3}$	$-4,16 \times 10^{-2}$
g_s	$-2,70 \times 10^{-3}$	$-1,24 \times 10^{-3}$
Ci	$-8,30 \times 10^{-1}$	$-5,52 \times 10^{-1}$
E	$-3,54 \times 10^{-2}$	$-2,88 \times 10^{-2}$
A/Ci	$1,14 \times 10^{-4}$	$-5,62 \times 10^{-5}$
EUA	$1,63 \times 10^{-2}$	$7,69 \times 10^{-3}$

A = Taxa de assimilação de CO_2 ; G_s = Condutância estomática; Ci = Concentração interna de CO_2 ; E = Taxa de transpiração; A/Ci = Eficiência de carboxilação; EUA = Eficiência do uso da água; DAT = Dias após transplante.

Na Tabela 12 está descrita as porcentagens da variância explicada e acumulada das 12 componentes obtidas, contudo, são apresentadas somente as cinco primeiras pela sua maior representatividade.

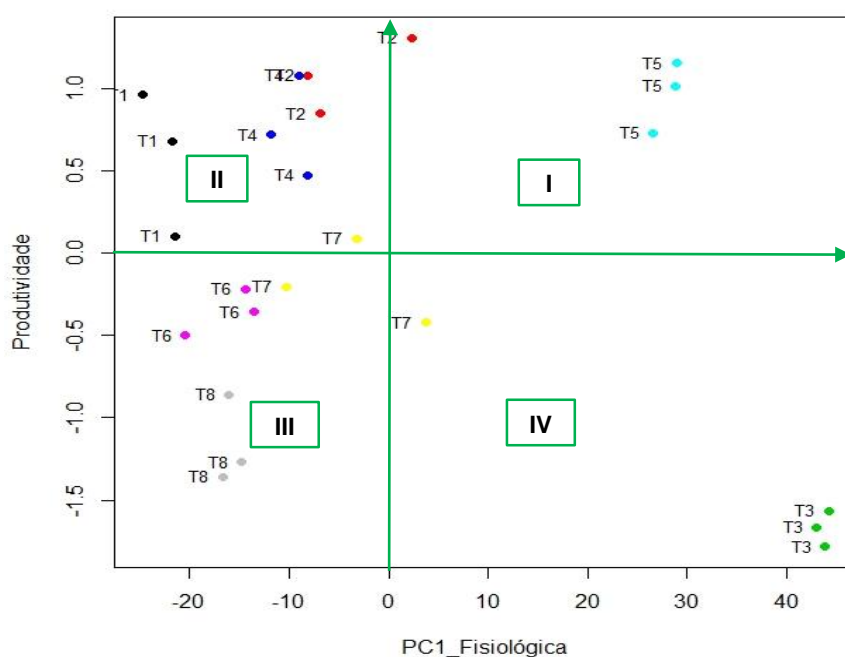
Tabela 12 - Componentes principais (CP) da variância explicada e acumulada das variáveis fisiológicas. São Manuel, SP, 2016.

CP	EXPERIMENTO I – 2016	
	Fisiológica	
	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
PC1	74,23	74,23
PC2	25,25	99,48
PC3	0,39	99,86
PC4	$4,61 \times 10^{-4}$	99,86
PC5	$4,17 \times 10^{-4}$	99,86

Foi certificado por meio da Tabela 11 que a *Ci* aos 53 e 68 DAT foram as variáveis que mais contribuíram para as respostas fisiológicas da PC1, todos com carga negativa.

Na Figura 20 é mostrado o comportamento dos tratamentos ao longo do eixo horizontal, separados através dos quatro quadrantes. Foi notado que quando a concentração interna de CO₂ aos 53 e 68 DAT estava baixa, o tratamento T5 fixado no quadrante I, com valor positivo, expressou alta produtividade. Ao analisar esse mesmo comportamento fisiológico para o tratamento T3 (quadrante IV, valor negativo) foi observado redução nos índices produtivos.

Figura 20 - Dispersão dos escores da componente principal 1 (PC1_Fisiológica) das variáveis fisiológicas. Experimento I. São Manuel-SP, 2016.



T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

Mas quando o acúmulo da molécula de CO₂ aumentou aos 53 e 68 DAT, houve incremento da produtividade nos tratamentos T1, T2 e T4 (quadrante II, valor positivo). Esse acréscimo de CO₂ na câmara subestomática, no entanto, resultou em

baixa produtividade nos tratamentos inseridos no quadrante III, com valor negativo (T6, T7 e T8) (Figura 20).

Fisiologicamente baixos níveis de CO₂ na câmara subestomática indicam a captura dessa molécula de forma efetiva pela enzima Rubisco. Seguindo essa lógica, presume-se que as doses utilizadas com as suas respectivas épocas de aplicações nos tratamentos T3, T6, T7 e T8 interferiram na rota metabólica dessa enzima, que em vez de capturar o dióxido de carbono como substrato para a fotossíntese, fixou oxigênio, considerado como a primeira etapa resultante da fotorrespiração e consequente queda de produtividade (Figura 20).

1.3.4.2.2 Experimento II

Baseado na matriz de correlação entre todos os pares de variáveis (A 50, g_s 50, Ci 50, E 50, A/Ci 50, EUA 50, Fv/Fm 50, Fv'/Fm' 50, qP 50, qNP 50, ETR 50, A 62, g_s 62, Ci 62, E 62, A/Ci 62, EUA 62, Fv/Fm 62, Fv'/Fm' 62, qP 62, qNP 62, ETR 62, A 80, g_s 80, Ci 80, E 80, A/Ci 80, EUA 80, Fv/Fm 80, Fv'/Fm' 80, qP 80, qNP 80, ETR 80, A 91, g_s 91, Ci 91, E 91, A/Ci 91, EUA 91, Fv/Fm 91, Fv'/Fm' 91, qP 91, qNP 91 e ETR 91) foram adquiridos os autovalores e seus respectivos autovetores para avaliação das componentes principais (Tabela 13).

Tabela 13 - Loadings das componentes principais (PC) das variáveis fisiológicas. São Manuel-SP, 2017.

EXPERIMENTO II – 2017				
Loadings	PC1			
	50 DAT	62 DAT	80 DAT	91 DAT
A	$2,91 \times 10^{-3}$	$3,40 \times 10^{-3}$	$6,57 \times 10^{-3}$	$-1,16 \times 10^{-2}$
g_s	$-6,88 \times 10^{-5}$	$-2,16 \times 10^{-4}$	$-2,72 \times 10^{-4}$	$-8,31 \times 10^{-5}$
Ci	$-2,15 \times 10^{-2}$	$-8,80 \times 10^{-1}$	$-5,92 \times 10^{-2}$	$-3,91 \times 10^{-2}$
E	$-4,94 \times 10^{-3}$	$4,00 \times 10^{-3}$	$-2,34 \times 10^{-3}$	$2,32 \times 10^{-3}$
A/Ci	$1,60 \times 10^{-5}$	$4,04 \times 10^{-4}$	$3,95 \times 10^{-5}$	$-2,98 \times 10^{-5}$
EUA	$4,92 \times 10^{-3}$	$-5,65 \times 10^{-3}$	$7,24 \times 10^{-3}$	$-3,17 \times 10^{-3}$
Fv/Fm	$-1,85 \times 10^{-4}$	$3,20 \times 10^{-5}$	$3,46 \times 10^{-5}$	$8,83 \times 10^{-5}$
Fv'/Fm'	$-5,24 \times 10^{-6}$	$-1,01 \times 10^{-4}$	$-5,10 \times 10^{-4}$	$-2,56 \times 10^{-4}$
qP	$-1,33 \times 10^{-3}$	$4,92 \times 10^{-4}$	$1,62 \times 10^{-3}$	$5,22 \times 10^{-5}$
qNP	$2,29 \times 10^{-3}$	$1,24 \times 10^{-3}$	$2,67 \times 10^{-3}$	$6,76 \times 10^{-5}$
ETR	$-8,95 \times 10^{-2}$	$1,64 \times 10^{-1}$	$4,27 \times 10^{-1}$	$3,53 \times 10^{-2}$
Loadings	PC2			
	50 DAT	62 DAT	80 DAT	91 DAT
A	$1,01 \times 10^{-2}$	$-2,20 \times 10^{-2}$	$-1,15 \times 10^{-2}$	$4,40 \times 10^{-4}$
g_s	$-2,96 \times 10^{-4}$	$-2,39 \times 10^{-4}$	$4,40 \times 10^{-4}$	$4,90 \times 10^{-4}$
Ci	$-1,48 \times 10^{-1}$	$-2,38 \times 10^{-1}$	$2,82 \times 10^{-1}$	$5,64 \times 10^{-1}$
E	$-6,52 \times 10^{-3}$	$-3,40 \times 10^{-3}$	$8,09 \times 10^{-3}$	$-6,40 \times 10^{-3}$

<i>A/Ci</i>	$6,73 \times 10^{-5}$	$-6,83 \times 10^{-5}$	$-9,94 \times 10^{-5}$	$-1,80 \times 10^{-4}$
<i>EUA</i>	$6,25 \times 10^{-3}$	$-3,26 \times 10^{-3}$	$-1,83 \times 10^{-2}$	$5,37 \times 10^{-3}$
<i>Fv/Fm</i>	$-2,29 \times 10^{-5}$	$-1,98 \times 10^{-6}$	$7,84 \times 10^{-5}$	$-5,07 \times 10^{-5}$
<i>Fv'/Fm'</i>	$1,59 \times 10^{-4}$	$-3,31 \times 10^{-4}$	$4,19 \times 10^{-4}$	$3,79 \times 10^{-4}$
<i>qP</i>	$-1,09 \times 10^{-3}$	$-6,08 \times 10^{-4}$	$-1,49 \times 10^{-3}$	$-1,17 \times 10^{-3}$
<i>qNP</i>	$-3,59 \times 10^{-4}$	$2,16 \times 10^{-3}$	$-2,39 \times 10^{-3}$	$-2,78 \times 10^{-4}$
<i>ETR</i>	$-1,67 \times 10^{-1}$	$2,06 \times 10^{-1}$	$-3,18 \times 10^{-1}$	$-4,98 \times 10^{-1}$

A= Taxa de assimilação de CO₂; *g_s* = Condutância estomática; *Ci* = Concentração interna de CO₂; *E* = Taxa de transpiração; *A/Ci* = Eficiência de carboxilação; *EUA* = Eficiência do uso da água; *Fv/Fm* = Eficiência quântica potencial do FSII; *Fv'/Fm'* = Eficiência quântica da antena; *qP* = Coeficiente de extinção fotoquímico; *qNP* = coeficiente de extinção não-fotoquímico; *ETR* = Taxa aparente de transporte de elétrons ; DAT = Dias após transplante; DAA; Dias após aplicação.

Ao considerar as análises de componentes principais é necessário alcançar 70% da variância total, nesse caso, para fluorescência da clorofila *a* associada as trocas gasosas do experimento II foi preciso duas componentes para explicar o comportamento dos dados. A PC1 e PC2 foram responsáveis por 80,20% das variações das medidas originais (Tabela 14).

Tabela 14 - Componentes principais (CP) da variância explicada e acumulada das variáveis fisiológicas. São Manuel-SP, 2017.

CP	Fisiológica	
	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
	PC1	47,49
PC2	32,71	80,20
PC3	9,73	89,93
PC4	5,89	95,82
PC5	2,75	98,57

Destaca-se na Tabela 14 as componentes principais encontradas na análise, assim como a explicação de cada componente e a porcentagem total da variância acumulada das 44 componentes formadas, sendo descrita apenas as cinco primeiras pelo grau de relevância em relação a baixa explicação das demais.

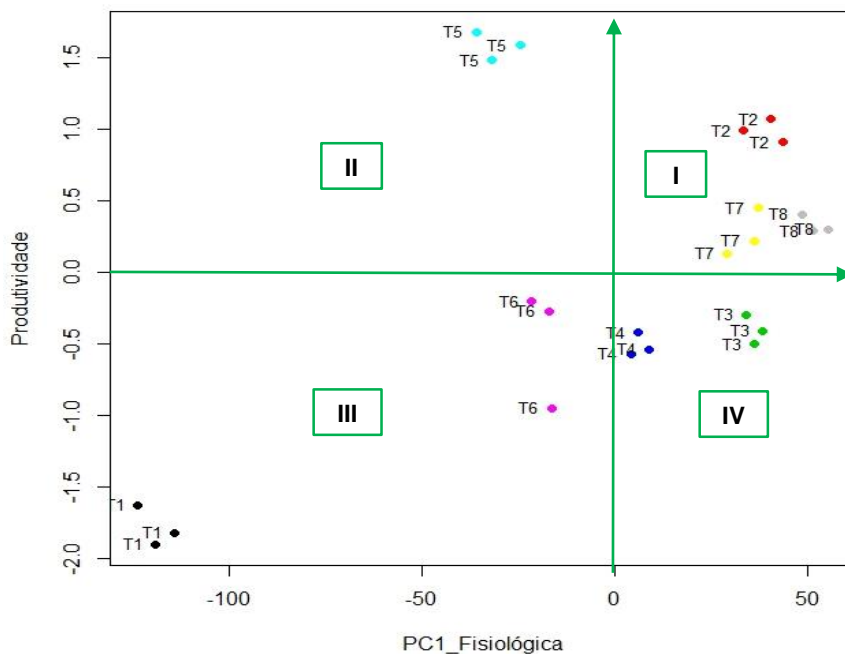
A Tabela 13 discorre sobre a contribuição de cada variável para cada componente. Na PC1_Fisiológica as variáveis que mais auxiliaram na produtividade do tomateiro foram as avaliações de *Ci* aos 62 DAT, com carga negativa, e *ETR* aos 62 e 80 DAT com carga positiva.

O comportamento dos tratamentos distribuídos nos quatro quadrantes é analisado na Figura 21 por meio da dispersão bidimensional. A baixa concentração interna de CO₂ na câmara subestomática aos 62 DAT, associado ao elevado fluxo de elétrons na cadeia transportadora dessa partícula aos 62 e 80 DAT acarretou em alta produtividade nas plantas do tratamento T2, T7 e T8, inclusos no quadrante I,

com valor positivo. Essa proporção entre a concentração interna de CO₂ e ETR foi detectada também nos tratamentos inseridos no quadrante IV, com valor positivo, identificados como T3 e T4, mas com impacto negativo na produtividade.

Observa-se que houve eficiência dos tratamentos no aumento da taxa aparente de transporte de elétrons, porém, com efeito inibitório na rota de fixação de carbono nas plantas dos tratamentos T3, T4, T7 e T8 (Figura 21). Embasado nos resultados do tratamento T2, destituído de cobalto e molibdênio, seguramente, nos tratamentos T3, T4, T7 e T8 essa resposta tenha relação com a dose utilizada desses micronutrientes, que provavelmente causou alterações a nível anatômico e bioquímico, fazendo com que a RuBP se ligasse ao oxigênio, resultando em perda de carbono pela atividade oxigenase da Rubisco, com isso a produtividade foi limitada nesses tratamentos.

Figura 21 - Dispersão dos escores da componente principal 1 (PC1_Fisiológica) das variáveis fisiológicas. Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

O uso da maior dose da combinação dos micronutrientes com os reguladores vegetais, pulverizada três vezes durante o ciclo da cultura, resultou em maior acúmulo interno de CO₂ aos 62 DAT e em queda na taxa aparente de transporte de elétrons aos 62 e 80 DAT. Fisiologicamente, isso favoreceu o tratamento T5 localizado no quadrante II, com valor negativo, em razão das plantas desse tratamento terem apresentado boa produtividade (Figura 21). Os tratamentos T1 e T6 acrescentados no quadrante III foram prejudicados com essa alta demanda de CO₂ aos 62 DAT e redução da *ETR* aos 62 e 80 DAT, sendo comprovado pelo decréscimo da produtividade.

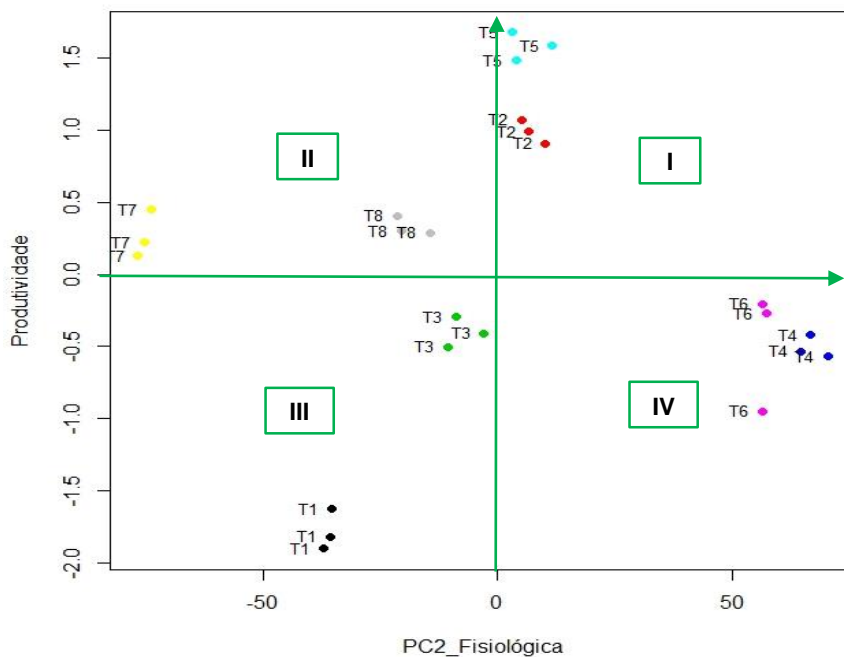
Verifica-se que a dose do tratamento T5 apesar de ter produzido menos ATP e NADPH conseguiu se manter em produção, indicando que a dose desse tratamento não alterou anatomicamente o funcionamento da Rubisco, apesar de ter afetado a taxa aparente de transporte de elétrons, o que justifica a produtividade elevada nesse tratamento (Figura 21). Isso comprova a eficácia agrônômica das plantas do tratamento T5, principalmente, pelo tomateiro ser uma planta C3, em que o fator limitante para a fotossíntese é o dióxido de carbono. Nesse âmbito, o declínio produtivo nas plantas dos tratamentos T1 e T6 pode ser indicativo de oxidação da RuBP pelo oxigênio, limitando a produtividade pelo processo de fotorrespiração.

A concentração interna de CO₂ e a taxa aparente de transporte de elétrons assim como apurado na PC1, foram também os indicadores fisiológicos de maior contribuição para os resultados da PC2. Nessas circunstâncias, além das análises realizadas aos 62 e 91 DAT, foi necessária nessa segunda componente as avaliações efetuadas durante o período de frutificação e pico de produção, aos 50 e 91 DAT, respectivamente (Tabela 13). Os resultados obtidos para o acúmulo de CO₂ na câmara subestomática apresentou carga negativa nas duas primeiras coletas de dados (50 e 62 DAT) e positiva nas avaliações subsequentes (80 e 91 DAT). Para os valores de *ETR*, a maioria das datas exibiram carga negativa, acerca disso, apenas a avaliação efetuada aos 62 DAT foi positiva.

O comportamento dos tratamentos para PC2_Fisiológica está especificado na Figura 22, dividida em quatro quadrantes. Os tratamentos T2 e T5, distribuídos no quadrante I, com valor positivo, apresentaram incremento na produtividade de frutos quando a quantidade interna de CO₂ aos 50 e 62 DAT foi baixa e aos 80 e 91 DAT foi elevada.

Apesar do fluxo de elétrons representado pela *ETR* aos 50, 62, 80 e 91 DAT ter sido limitado nas plantas desses tratamentos, a aplicação exógena de auxina, giberelina e citocinina de forma isolada ou combinada com cobalto e molibdênio na dose e época adequada de fornecimento, favoreceu as plantas em suas atividades fisiológicas e, conseqüentemente, produtivas (Figura 22). Essa afirmação é justificada pela resposta observada nos tratamentos T4 e T6, reunidos no quadrante IV, com valor positivo, em razão desses tratamentos terem apresentado o mesmo efeito para a concentração interna de CO₂ e taxa aparente de transporte de elétrons, certificado nos tratamentos T2 e T5, todavia, nas plantas dos tratamentos T4 e T6 a produtividade decaiu.

Figura 22 - Dispersão dos escores da componente principal 2 (PC2_Fisiológica) das variáveis fisiológicas. Experimento II. São Manuel-SP, 2017.



T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

O incremento na concentração intercelular de CO₂ aos 50 e 62 DAT e o declínio dessa molécula na câmara subestomática aos 80 e 91 DAT, atrelada ao aumento da taxa aparente de transporte de elétrons aos 50, 62, 80 e 91 DAT,

impulsionou a produtividade nos tratamentos T7 e T8, fixados no quadrante II, com valor negativo. Esse comportamento fisiológico, no entanto, comprometeu a produtividade dos tratamentos T1 e T3, ordenados no quadrante III, com valor negativo (Figura 22).

As plantas dos tratamentos T7 e T8 foram beneficiadas pela proporção das doses aplicadas até o final do ciclo, enquanto a ausência dessas substâncias no tratamento T1 e a menor dose desses compostos no tratamento T3, certamente contribuíram para o processo de abscisão foliar e de frutos, além da produção de radicais livres, refletindo nos mecanismos fisiológicos dessas plantas.

Com base nos resultados dos dois experimentos, constatou-se que as doses e as épocas de aplicações dos micronutrientes e reguladores vegetais influenciam na resposta bioquímica e fisiológica do tomateiro, refletindo na produção de frutos. Em suma, esse efeito foi observado, principalmente, nos tratamentos T2 e T5, com produtividade significativa nos dois anos de cultivo. Pelo fato do tomateiro possuir mecanismo fotossintético de uma planta C3, a estabilidade da produção a cada safra é importante em virtude das condições climáticas afetarem a produtividade da cultura, sobretudo, em diferentes anos de condução da planta.

1.4 CONCLUSÃO

Para os dois experimentos a enzima superóxido dismutase e o teor de peróxido de hidrogênio foram as variáveis bioquímicas de maior influência na produtividade, já fisiologicamente foi a concentração interna de CO₂ e a taxa aparente de transporte de elétrons.

Em ambos os experimentos, os tratamentos constituídos da mistura de IBA + GA₃ + Kt na dose de 0,5 L ha⁻¹ com seis aplicações e de Co + Mo na dose de 2,0 L ha⁻¹ combinado com 0,5 L ha⁻¹ de IBA + GA₃ + Kt pulverizado três vezes durante o ciclo da cultura apresentaram maior rendimento produtivo nos dois anos de cultivo.

São poucas as informações sobre o metabolismo de cobalto e molibdênio associado as auxinas, giberelinas e citocininas, por isso são importantes trabalhos prospectivos acerca dessas substâncias nos processos que envolvem a resposta produtiva das plantas, principalmente, a nível molecular quanto a atuação desses compostos em resposta à produtividade do tomateiro.

REFERÊNCIAS

- ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.24, n.12, p.1337-1344, 2001.
- ALMEIDA, G. M.; RODRIGUES, J. G. L. Desenvolvimento de plantas através da interferência de auxinas, citocininas, etileno e giberilinas. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v.9, n.3, p.111-117, 2016.
- ALMEIDA, L. da S.; GUIMARÃES, E. C. Geoestatística para determinação e modelagem da variabilidade espacial de micronutrientes no solo cultivado com cafeeiro no município de Araguari–MG. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.26, n.2, p.158-173, 2017.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2ed. Lavras: UFLA, 2013. 455p.
- ANJOS, D. D. N.; MENDES, H. T. A.; VASCONCELOS, R. C.; MOREIRA, P. M.; CANGUSSU, A. C. V.; PIRES, E. S. Avaliação do feijoeiro comum em função dos bioestimulantes, NPK e micronutrientes em Vitória da Conquista - BA. **Revista Agrarian**, Dourados, v.10, n.35, p.1-9, 2017.
- BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster v.55, n.403, p.1607-1621, 2004.
- BAKER, B. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. **Annual Review of Plant Biology**, Boca Raton, v.59, p.89-113, 2008.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Software AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015. 396p.
- BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, New York, v.170, n.4. p.489 - 504, 1987.
- BOR, M.; ÖZDEMİR, F.; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Science**, Limerick, v. 164, n. 1, p.77-84, 2003.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantifications of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analitycal Biochemistry**, Alexandria, v. 72, p.248-254, 1976.
- CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n.1, p.973-983, 2015.

COSTA, A. S.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, I. A.; PEREIRA, F. H. F. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**, Botucatu, v.20, n.4, p.705-717, 2015.

DAVIES, P, J.; SPONSEL, V. **Giberelinas: Reguladores da altura das plantas e da germinação de sementes**. In: TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p.581-618.

DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfi eld: Science Publishers, 2011. Chap.9, p.178-203.

FRANCO, M. C.; BUFFING, M.F.; JANSSEN, M.; LOBATO, C.V.; WIJFFELS, R.H. Performance of *Chlorella sorokiniana* under simulated extreme winter conditions. **Journal of Applied Phycology**, v. 24, n.4, p.693–699, 2012.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S.K. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, Waterbury, v.59, n.2, p.309-314, 1977.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.48, n. 12, p.909-930, 2010.

GOMES, R. F.; CRUZ, F. JR.; NUNES, R.C.; CASTOLDI, R.; SANTOS, D.M.M.; BRAZ, L. T. Respostas enzimáticas na enxertia de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p.491-497, 2016.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2019. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola**. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2019_jan.pdf jan. 2019. Acesso em: 12 set. 2019.

IPNI. International Plant Nutrition Institute. 2018. **Informação agronômica sobre nutrientes para as plantas: Cobalto**. Ed n° 15. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/nutrifactsbrasil.nsf/0/ECA0469ED43D85E983258186004CB1DB/\\$FILE/NutriFacts-BRASIL-15.pdf](http://www.ipni.net/publication/nutrifactsbrasil.nsf/0/ECA0469ED43D85E983258186004CB1DB/$FILE/NutriFacts-BRASIL-15.pdf). Acesso em: 23 set. 2019.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, Waterbury, v.57, n.2, p.315-319, 1976.

LINO, L. O. **Características anatômicas e fisiológicas de genótipos de sorgo contrastantes para tolerância à seca**. 2011. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.51, n.345, p.659-668, 2000.

- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Delft, v.11, n.5, p. 1633-1644, 2007.
- PEREIRA-NETTO, A. B. **Crescimento e desenvolvimento**. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. (Eds.) *Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita*. Curitiba: Champagnat, 2002. p. 17- 42.
- PEIXOTO, P.H.P.; CAMBRAIA, J.; SANTANNA, R.; MOSQUIM, P.R.; MOREIRA, M.A. Aluminium effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.11, n.3, p.137-143, 1999.
- PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA. **Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill): normas de classificação**. Documentos, CQH/CEAGESP, São Paulo, n.26, 2003.
- RAMA DEVI, S.; PRASAD, M. N. V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: Response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, Limerick, v.138, n.2, p.157-165, 1998.
- REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo 'formosa' cultivado em condição de campo. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.815-822, 2008.
- RIBAS, J. R.; VIEIRA, P. R. da C. **Análise Multivariada com o uso do SPSS**. Editora Ciência Moderna: Rio de Janeiro, p. 272, 2011.
- RODRIGUES, L. A.; BATISTA, M. S.; ALVAREZ, R. C. F.; LIMA, S. F.; ALVES, C. Z. Avaliação fisiológica de sementes de arroz submetidas a doses de bioestimulante, **Revista Nucleus**, Ituverava, v.12, n.1, 2015.
- SAISANTHOSH, K. et al. Role of Enzymatic Antioxidants Defense System in Seeds. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Tamilnadu, v.7, n.1, p.584-594, 2018.
- SANTOS, C. M.; GONÇALVES, E. R.; ENDRES, L.; GOMES, T. C. A.; JADOSKI, C. J.; NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.3, n.3, p.95-102, 2010.
- SCHREIBER, U.; BILGER, W.; HORMANN, H.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. In: RAGHAVENDRA, A. S. (Ed.). **Photosynthesis: a comprehensive treatise**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p. 320-336.
- SCHWARZ, G. Molybdenum cofactor and human disease. **Current Opinion in Chemical Biology**, Amsterdã, v.31, p.179-187, 2016.
- SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. de. **Soja: molibdênio e cobalto**. Documentos, Embrapa Soja, Londrina, n. 322, 36p, 2010. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859439/1/Doc322online1.pdf>. Acesso em: 20 set. 2019.

SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S. de; SOUSA, M. S. S.; COSTA, F. S.; FERNANDES, P. D.; PEREIRA, V. M.; Brito, M. E. B. Desenvolvimento e eficiência fotoquímica em mudas de híbrido de maracujazeiro sob lâminas de água. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.26, n.4, p.566-571, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 848p.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, Limerick, v.153, n.1, p.65–72, 2000.

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, Berlin, v. 153, n.4, p.376-387, 1981.

WI, S. J.; JI, N. R.; PARK, K. Y. Synergistic biosynthesis of biphasic ethylene and reactive oxygen species in response to hemibiotrophic *Phytophthora parasitica* in tobacco plants. **Plant Physiology**, Waterbury, v.159, n.1, p. 251-265, 2012.

YA-DAN, D.; HONG-XIA, C.; SHI-QUAN, L.; XIAO-BO, G.; YU-XIN, C. Response of yield, quality, water and nitrogen use efficiency of tomato to different levels of water and nitrogen under drip irrigation in Northwestern China. **Journal of Integrative Agriculture**, Pequim, v.16, n.5, p. 1153-1161, 2017.

CAPÍTULO 2

REGULADORES VEGETAIS E MICRONUTRIENTES NA QUALIDADE DE FRUTOS DE TOMATEIRO EM DOIS ANOS DE CULTIVO

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar os atributos de qualidade em frutos de tomate híbrido Santy com a aplicação de reguladores vegetais de forma isolada e combinada com micronutrientes em diferentes doses e períodos de desenvolvimento do tomateiro em cultivo protegido. Foram conduzidos dois experimentos independentes em delineamento de blocos ao acaso com oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos utilizados foram: T1 - Controle; T2 - IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹; T3 (Co + Mo - 0,5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T4 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T5 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T6 (Co + Mo - 0,5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹); T7 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹) e T8 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹). As aplicações dos tratamentos 3, 4 e 5 iniciaram-se no florescimento e cessaram na primeira colheita dos frutos, enquanto os tratamentos 2, 6, 7 e 8 as aplicações tiveram início no florescimento e transcorreram até a última colheita, com intervalo de 14 dias entre as aplicações. Como indicadores de qualidade do fruto foram quantificados os teores de sólidos solúveis, pH, acidez titulável, índice de maturação, perda de massa, açúcares redutores, sacarose e amido. Os tratamentos não influenciaram no acúmulo de açúcares redutores e não redutores nos dois anos de cultivo. As concentrações de amido foram mais altas nas plantas dos tratamentos com a mistura de Co + Mo na dose de 2 L ha⁻¹ associado ao IBA + GA₃ + Kt na dose de 0,5 L ha⁻¹ com três pulverizações (experimento I) e com a combinação de Co + Mo na dose de 0,5 L ha⁻¹ com IBA + GA₃ + Kt na dose de 0,5 L ha⁻¹ aplicado seis vezes durante o ciclo da cultura (experimento II). O tratamento com a combinação dos micronutrientes (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) com os reguladores vegetais (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹) aplicado somente 3 vezes apresentou o menor índice de maturação e perda de massa durante o armazenamento dos frutos para os dois experimentos.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L. Físico-química. Hormônios. Carboidratos. Pós-colheita.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the quality attributes of Santy hybrid tomato fruits with the application of plant regulators in isolation and combined with micronutrients in different doses and periods of development of tomatoes in protected cultivation. Two independent experiments were carried out in a randomized block design with eight treatments and three replications. The treatments used were: T1- Control; T2 - IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹; T3 (Co + Mo - 0.5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T4 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T5 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T6 (Co + Mo - 0.5 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹); T7 - (Co + Mo - 1 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹) and T8 (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) + (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹). In treatments 3, 4 and 5, the applications were from flowering until first harvest of fruits, while treatments 2, 6, 7 and 8 the applications were from flowering until last harvest, with an interval of 14 days between applications. As indicators of fruit quality, the contents of soluble solids, pH, titratable acidity, maturation index, weight loss, reducing sugars, sucrose and starch were quantified. The treatments did not influence the accumulation of reducing and non-reducing sugars in the two years of cultivation. The starch concentrations were higher in the plants of the treatments with the mixture of Co + Mo in the dose of 2 L ha⁻¹ associated with IBA + GA₃ + Kt in the dose of 0.5 L ha⁻¹ with three sprays (experiment I) and with the combination of Co + Mo in the dose of 0.5 L ha⁻¹ with IBA + GA₃ + Kt in the dose of 0.5 L ha⁻¹ applied six times during the culture cycle (experiment II). The treatment with combination of micronutrients (Co + Mo - 2 L ha⁻¹) and crop regulators (IBA + GA₃ + Kt - 0.5 L ha⁻¹) applied three times has the lowest index of maturation and loss of mass during fruit storage, in two evaluated experiments.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L. Physicochemical. Hormones. Carbohydrates. Post-harvest.

2.1 INTRODUÇÃO

O tomate está entre as olerícolas do tipo fruto mais consumidas no mundo (FAO, 2019). A produção tem crescido nos últimos anos, exigindo tecnologias mais apropriadas para o cultivo, aliada as técnicas de conservação pós-colheita, o que garantirá maior vida útil do fruto.

No Brasil, o estado de Goiás ocupa o primeiro lugar no ranking nacional de produção de tomate, seguido dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Bahia, Santa Catarina, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Paraná, Ceará e Rio Grande do Sul (IBGE, 2019). Atualmente, o cultivo protegido é uma técnica bastante difundida nas áreas agrícolas de tomateiro com o valor do fruto em ascensão por permitir maior controle das condições climáticas, devido ao microclima menos favorável à incidência de

pragas, doenças e distúrbios fisiológicos, o que reflete em melhoria das qualidades físico-químicas do produto.

A importância da cultura do tomateiro na agricultura é pela sua produção de frutos, o tomate, que é caracterizado como fruto climatérico. A sua disponibilidade no mercado é limitada, principalmente, pela sua alta perecibilidade, o que contribui decisivamente para a qualidade do fruto, comprometendo o seu aproveitamento e rentabilidade.

Desse modo, é importante que haja equilíbrio hormonal para que a planta possa completar seu ciclo diante das interferências do meio externo. Nesse contexto, pode-se utilizar os reguladores vegetais em conjunto com micronutrientes, a fim de atender a demanda da planta quanto às características físico-químicas e vida útil pós-colheita dos frutos, aumentando desta forma a oferta e aceitabilidade nos centros consumidores.

Os reguladores vegetais apresentam atividade semelhante aos hormônios vegetais endógenos encontrados nas plantas. Neste grupo, os reguladores vegetais mais comuns são produtos à base de giberelinas (ácido giberélico) e produtos compostos de mais de um grupo hormonal, como auxinas, giberelinas e citocininas (RODRIGUES; FIOREZE, 2015). Estes compostos quando aplicados à planta podem provocar alterações estruturais, melhorias na produtividade e na qualidade do fruto (VENDRUSCOLO et al., 2017).

As auxinas atuam, principalmente, na regulação do crescimento e promoção do enraizamento dos primórdios radiculares. As giberelinas apresentam, como uma de suas principais funções, a estimulação da divisão e alongamento celular. As citocininas estimulam, principalmente, os processos de divisão celular (citocinese) (SANTOS et al., 2017). Outros efeitos atrelados a mistura dessas substâncias diz respeito à abscisão foliar, indução floral, retardo da senescência foliar e fixação de frutos.

O cobalto e molibdênio corresponde aos nutrientes que as plantas demandam em pequenas quantidades, classificados como micronutrientes (CESARIN, 2018). Estudos têm sido realizados objetivando atenuar ou inibir a ação do etileno nos frutos e o cobalto é considerado um inibidor da rota de síntese do etileno, bloqueando a conversão do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) em etileno realizada pela ACC oxidase, a última etapa na biossíntese do etileno (TAIZ; ZEIGER, 2013). O molibdênio é um elemento essencial às plantas, com ação nos

processos bioquímicos e na composição química das plantas (KOSTOVA; MEHANDJIEV, 2013). No vegetal, uma das principais funções está relacionada à produção de molibdoenzimas (Mo-enzimas) que regulam várias funções fisiológicas (IPNI, 2018).

Apesar disso, estudos sobre o metabolismo do cobalto e molibdênio na cultura do tomateiro ainda são escassos, sendo necessárias mais pesquisas que envolvam a relação desses micronutrientes associados aos reguladores vegetais com a fisiologia da planta, sobretudo, no crescimento, fixação, maturação e qualidade do fruto.

Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar os atributos de qualidade em frutos de tomateiro híbrido Santy com aplicação da mistura de auxina, giberelina e citocinina isolada e combinada com cobalto e molibdênio em diferentes doses e períodos de desenvolvimento do tomateiro em cultivo protegido.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Descrição experimental

Foram conduzidos dois experimentos independentes em condições de ambiente protegido, na Fazenda Experimental de São Manuel pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu, localizada no município de São Manuel – SP. A região está localizada geograficamente nas coordenadas de 22° 44' S de latitude e 47° 34' W de longitude, com altitude média de 750 m. O clima da região, segundo Peel et al. (2007) é do tipo mesotérmico subtropical úmido com estiagem na época de inverno.

A condução do experimento I ocorreu entre os meses de novembro de 2016 a fevereiro de 2017 e o experimento II, entre setembro à dezembro de 2017. O delineamento experimental empregado em ambos os experimentos foi de blocos ao acaso, com oito tratamentos e três repetições. Como material genético foi utilizado o híbrido Santy, indicado comercialmente no espaçamento de 1,2 m entre linhas e 0,7 m entre plantas.

O transplante das mudas ocorreu em torno de 30 dias após a semeadura, sendo a unidade experimental composta pelo espaçamento de 1,2 x 0,7 m, totalizando 11.905 plantas ha⁻¹ (Experimento I) e de 1,2 x 0,5 m no experimento II, com densidade de 16.666 plantas ha⁻¹. O método de condução das plantas foi com

uma haste e o tutoramento na direção vertical com auxílio de bambu, em que as plantas à medida que cresciam foram fixadas ao tutor com suporte de um alceador. A correção do solo e adubação de plantio foram feitas de acordo com os aspectos físicos e químicos da área e necessidade nutricional da cultura, assim como os demais tratamentos culturais. O sistema de manejo da água foi por aplicação localizada com uso de fita flexível instaladas paralela à linha das plantas, com vazão de 1,6 L h⁻¹ e emissores com espaçamento de 0,2 m. A demanda nutricional das plantas foi requerida via fertirrigação semanal, com ajuste das doses às diferentes fases fenológicas da cultura. Visando interromper o crescimento vertical da planta foi realizada a poda apical acima do sexto cacho.

Os tratamentos foram compostos pela mistura de micronutrientes e reguladores vegetais (Tabela 1). Como fertilizante foliar foi utilizado o produto comercial Hold® (2% de cobalto e 3% de molibdênio) e como regulador vegetal o Stimulate® (90 mg L⁻¹ de citocinina [cinetina, Kt], 50 mg L⁻¹ de auxina [ácido indolibutírico, IBA] e 50 mg L⁻¹ de giberelina [GA₃]), assim como pelas respectivas doses, épocas e número de aplicações.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos aplicados no tomateiro conduzido em dois anos de cultivo. Experimento I (2016) e experimento II (2017). São Manuel - SP.

Micronutrientes e Reguladores	Doses	Épocas de Aplicação	Número de Aplicações
T1 – Controle	-	-	-
T2 - IBA + GA ₃ + Kt	0,5 L ha ⁻¹	Início da florada até a última colheita [30-105 DAT] (I) [24-100 DAT] (II)	6
T3 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	0,5 + 0,5 L ha ⁻¹	Início da florada até a primeira colheita [30-75 DAT] (I) [24-70 DAT] (II)	3
T4 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	1 + 0,5 L ha ⁻¹		
T5 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	2 + 0,5 L ha ⁻¹		
T6 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	0,5 + 0,5 L ha ⁻¹	Início da florada até a última colheita [30-105 DAT] (I) [24-100 DAT] (II)	6
T7 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	1 + 0,5 L ha ⁻¹		
T8 - (Co + Mo) + (IBA + GA ₃ + Kt)	2 + 0,5 L ha ⁻¹		

IBA= ácido indolibutírico (auxina); Kt= cinetina (citocinina); GA₃= ácido giberélico (giberelina); Co= cobalto; Mo= molibdênio.

Para o preparo da calda de pulverização foi realizada a acidificação da água, sendo utilizado como agente redutor de pH o produto comercial P51®, composto por 1% de nitrogênio e 51% de ácido fosfórico, visando manter o pH final da mistura

entre 4,0 e 5,0. Foi adicionado ainda na calda de pulverização como adjuvante o óleo vegetal (Natur'L Óleo®) afim de evitar deriva e objetivando aumento da área de contato da calda com a superfície alvo. As aplicações dos tratamentos foram realizadas em intervalos de 14 dias com suporte de pulverizador manual de CO₂, com pressão constante de 0,3 kgf cm⁻², de acordo com a vazão do bico em litros por minuto (L min⁻¹).

2.2.2 Atributos de qualidade do fruto

As análises físico-químicas (indicadores de qualidade do fruto) foram avaliadas em frutos oriundos do quinto e sexto cacho, em intervalos de dois dias. Foram quantificados pH, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e índice de maturação (SS/AT) em três repetições por tratamento. No experimento I, as avaliações tiveram início no dia da colheita (dia 0) estendendo-se até o 10° dia (dia 10); no experimento II, as avaliações foram até o 8° dia após o início da colheita. Para obtenção da amostra, foram triturados dois frutos de tomate com auxílio de um liquidificador e, posteriormente, realizadas as avaliações de:

- **Potencial hidrogeniônico (pH):** determinado com pHmetro digital de bancada, modelo Hanna, calibrado, por leitura direta na polpa de tomate triturada e homogeneizada (BRASIL, 2005);

- **Teor de sólidos solúveis (SS):** obtido pela leitura direta em refratômetro digital, modelo NOVA DR30 (Experimento I) e RTD-95 (Experimento II) (AOAC, 2005). Com auxílio de uma pipeta de Pauster descartável foram transferidas 3 gotas da amostra triturada da polpa do fruto para o prisma do refratômetro e o resultado expresso em °Brix;

- **Acidez Titulável (AT):** para a determinação da acidez titulável foi pesado em erlenmeyer de 100mL em balança de precisão 5 g da polpa do fruto de tomate triturada, completando o volume com água destilada. Em seguida foram adicionados 5 gotas de indicador de fenolftaleína e a titulação realizada com auxílio de pipeta graduada de vidro com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 N, até obter a coloração rósea, conforme recomendação do IAL (1985) e o resultado final expresso em porcentagem de ácido cítrico, conforme descrita na fórmula abaixo:

$$AT (\%) = V \times f \times 10 / p \quad (1)$$

Onde: V é o número de mL da solução de NaOH 0,1 N utilizados na titulação; f é o valor de correção da solução de NaOH 0,1 N e p é o número de gramas (ou mL) da amostra utilizada na titulação;

- **Índice de maturação (SS/AT):** parâmetro avaliado através da relação entre o teor de sólidos solúveis e acidez titulável (% de ácido cítrico).

A perda de massa foi analisada pela relação da diferença entre a massa inicial e final do fruto (CHITARRA; CHITARRA, 2005) e quantificada em intervalos a cada dois dias com auxílio de uma balança analítica de precisão. Para isso, foram acondicionados dois frutos em bandejas de poliestireno expandido com três repetições por tratamento e mantidos à temperatura ambiente em bancadas no laboratório pertencente ao Instituto de Biociências, Unesp - Botucatu, com temperatura e umidade monitorada (Experimento II). Como indicativo da vida útil pós-colheita foi considerado o estado de conservação dos frutos, com posterior pesagem dos frutos dentro do padrão de comercialização e o resultado final expresso em porcentagem de kg fruto^{-1} de acordo com a equação abaixo:

$$PM (\%) = (Mi - Mf / Mi) \times 100 \quad (2)$$

Onde: PM é a perda de massa; Mi é a massa inicial e Mf é a massa final.

Para perda de massa, no experimento I, as avaliações foram realizadas até o 12º dia após a colheita, enquanto, no experimento II, as avaliações foram até o 10º dia de armazenamento. Foi considerado 100% de perda de massa quando os frutos apresentaram ocorrência de danos, seja por fatores bióticos ou abióticos, como murchamento, doenças, podridão, entre outros, caracterizando-os como não comerciáveis.

2.2.3 Teores de açúcares nos frutos

A quantificação dos açúcares foi composta por uma única avaliação, em três repetições por tratamento.

A extração dos açúcares foi realizada pelo método de Garcia et al. (2006). Para os açúcares redutores e sacarose, os frutos de tomate foram triturados e da polpa homogeneizada foram pesados 100 mg em balança analítica de precisão e, posteriormente, adicionado 1 mL de etanol 80% em cada eppendorf e agitado em vórtex.

Os tubos foram incubados em banho-maria à 80°C por 15 minutos e, em seguida, foram centrifugados a 12000 rpm por 15 minutos à 4°C. Após isso, o sobrenadante foi transferido para tubos Falcon com capacidade de 15 mL e repetido o processo por mais 2 vezes. Posteriormente, uniu-se os três sobrenadantes e igualou-se o volume com água deionizada (3 mL), com auxílio de proveta, do qual foi retornado novamente para os tubos Falcon. A solução extraída foi armazenada na geladeira, até a determinação dos açúcares. O precipitado (pellet) que restou nos eppendorf foi armazenado em freezer à -20°C para posterior extração do amido.

Para a extração do amido foi adicionado 500 µL de água deionizada aos eppendorf contendo o precipitado da extração de açúcares e agitado em vórtex, em seguida, colocados em banho de gelo. Foi adicionado então 650 µL de ácido perclórico 52%, gelado, sendo agitado a cada 5 minutos, durante 15 minutos. O material foi transferido para tubos Falcon com capacidade para 15 mL e adicionado 2000 µL de água deionizada, centrifugado a 10000 rpm por 5 minutos à 4°C. O sobrenadante foi recolhido e colocado em novos tubos Falcon de 15 mL devidamente limpos e adicionado então 500 µL de água deionizada aos tubos Falcon contendo os precipitados, que foram agitados em vórtex e colocados em banho de gelo. Após foi adicionado novamente 650 µL de ácido perclórico 52%, gelado, que foram mantidos em banho de gelo e agitados por 5 minutos, durante 30 minutos. A solução foi centrifugada a 10000 rpm por 5 minutos à 4°C. Após esse procedimento os dois sobrenadantes foram misturados e retornados para os tubos Falcon. A solução extraída foi armazenada na geladeira, até a determinação do amido.

- **Açúcares redutores (AR):** foi determinado pelo método DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico) que quantifica glicose, frutose e manose nos tecidos vegetais (MILLER, 1959). Após o processo de extração, foi determinada as concentrações de açúcares através da curva de calibração, o qual foram pesados 0,18 g de glicose dissolvida em água deionizada, obtendo solução final de 100 mL em balão volumétrico. O reagente DNS (solução 1) foi preparado pesando-se 8 g de NaOH, dissolvido em água deionizada, obtendo-se solução com volume final de 100 mL em balão volumétrico. Após isso, foi pesado 5,0 g de DNS e dissolvido na solução de NaOH. Foram pesados também 150 g de tartarato de sódio e potássio (solução 2), o qual foi adicionado 250 mL de água deionizada, sob aquecimento, agitando bem até a total diluição. Após a completa diluição, foi misturada as duas soluções, em que a

solução 2 foi adicionada dentro da solução 1, sob aquecimento. Depois de resfriada, a solução foi completada para 500 mL em balão volumétrico.

Para a reação da curva padrão de calibração, os tubos de ensaio foram colocados em banho de gelo, adicionando-se em seguida em cada tubo de ensaio (branco e 1-5), a solução de glicose e água, de acordo com os valores correspondentes segundo a metodologia. Posteriormente, foi adicionado 500 µL do reativo DNS. A mistura foi aquecida em banho-maria por 5 minutos, seguida de resfriamento em banho de gelo. A seguir, foi feita a diluição da mistura em água deionizada no volume de 3750 µL e as leituras realizadas à 540 nm. A reação para a quantificação dos açúcares redutores foi feita testando-se a diluição dos extratos de açúcares solúveis com água deionizada no volume final de 750 µL. Nos tubos de ensaio foram adicionados 500 µL da solução de antrona, após colocados em banho-maria em ebulição por 5 minutos. Com o resfriamento das amostras, foi acrescido 3750 µL de água deionizada e realizado as leituras em absorbância à 540 nm.

- **Sacarose (SAC):** a quantificação de sacarose foi realizada pelo método antrona fria (PASSOS, 1996). Para a solução padrão foram pesados 0,085 g de sacarose, dissolvida em água deionizada, com volume final de 100 mL em balão volumétrico. A antrona foi preparada pesando-se 0,1 g de antrona e adicionado 45 mL de ácido sulfúrico concentrado. A solução foi armazenada em frasco escuro, na geladeira por 30 minutos e utilizada no mesmo dia do preparo. Para o reagente de KOH (hidróxido de potássio) foram pesados 3 g e adicionados 10 mL de água deionizada. Após o preparo dos reagentes, foi determinada a curva padrão de sacarose, em que os tubos de ensaios foram colocados em banho-maria, depois de frio, foi adicionado em cada tubo de ensaio (branco e de 1 ao 5) a solução de sacarose e água, de acordo com os valores descritos na metodologia. Ao passo seguinte, foi adicionado 100 µL da solução de KOH, agitado os tubos e colocados em banho-maria em ebulição por 10 minutos. Posterior a isso, após o resfriamento, foram adicionados 2000 µL do reativo antrona, agitados novamente e colocados em banho-maria com temperatura de 40°C por 10 minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro à 620 nm.

A quantificação de sacarose consistiu da reação em que foram testadas a diluição dos extratos de açúcares com água deionizada no volume final de 100 µL, sendo adicionado em seguida 100 µL da solução de KOH e levados para banho-maria por 10 minutos sob ebulição. As amostras foram deixadas em banho de gelo

para o completo resfriamento, depois adicionou-se 2000 μ L do reativo antrona e os tubos foram novamente colocados em banho-maria a 40°C por 10 minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro com absorvância de 620 nm.

- **Amido (A):** O amido foi determinado de acordo com Morris (1948) e Yemm e Willis (1954). Para a solução padrão de glicose foram pesados 0,01 g de glicose e diluída em água deionizada, obtendo solução com volume final de 100 mL. Para o preparo do reagente antrona, foi pesado 0,1 g e adicionados 45 mL de ácido sulfúrico concentrado. Após o preparo, a solução foi armazenada em geladeira por 30 minutos e no momento da análise foi mantida sobre banho de gelo, ao abrigo da luz. Para a reação utilizada na curva padrão de glicose foram adicionadas a solução de glicose e água, com volume final de 1000 μ L. O reativo antrona foi adicionado no volume de 2000 μ L e colocados em tubos de ensaio sob banho-maria em ebulição por 3 minutos, após resfriamento, foi realizado as leituras à 620 nm. Para a reação da quantificação de amido nas amostras, foram testadas a diluição dos extratos de amido com água deionizada, com volume final de 1000 μ L. Adicionados em seguida, 2000 μ L do reativo antrona e os tubos colocados em banho-maria em ebulição por 3 minutos e as leituras realizadas em espectrofotômetro UV-visível à 620 nm.

2.2.4 Análise estatística

Os dados de carboidratos e perda de massa foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias foi efetuada aplicando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade, com o uso do programa estatístico AGROESTAT (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

As variáveis físico-químicas foram submetidas à análise de regressão com auxílio do software Minitab® - 2018, a fim de verificar o efeito dos dias de armazenamento na pós-colheita dos frutos.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Teores de açúcares nos frutos

2.3.1.1 Experimento I

Os teores de açúcares nos frutos de tomate encontram-se dispostos na Tabela 2. No metabolismo vegetal, a sacarose (SAC) é considerada o principal

açúcar não redutor. Os valores em mg g^{-1} de massa fresca quantificado nos frutos tratados com os micronutrientes e reguladores vegetais foram proporcionais aos frutos do tratamento controle. As mesmas doses aplicadas dos micronutrientes com os reguladores vegetais até a primeira ou última colheita dos frutos (T3 e T6, T4 e T7 e T5 com T8) não se diferiram entre si no acúmulo de sacarose nos frutos de tomate.

Tabela 2 - Média dos teores de sacarose (SAC, mg g^{-1} de massa fresca), açúcares redutores (AR, mg g^{-1} de massa fresca) e amido (A, mg g^{-1} de massa fresca) em frutos de tomateiro híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais aos 105 DAT. São Manuel, SP, 2016

EXPERIMENTO I – 2016			
TRAT	SAC	AR	A
T1	17,67ab	5,97a	4,94b
T2	18,95ab	6,07a	4,66b
T3	18,64ab	5,83a	4,99b
T4	19,48a	6,58a	5,07ab
T5	19,47a	6,41a	6,25a
T6	17,09b	5,18a	4,94b
T7	19,38a	5,58a	5,19ab
T8	18,11ab	5,72a	5,36ab
F	4,93*	2,26 ^{ns}	3,80*
C.V (%)	3,77	8,76	8,20

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem, significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5% de probabilidade, ^{ns} = não significativo. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

A aplicação da dose intermediária (1 L ha⁻¹) dos micronutrientes combinado a dose dos reguladores vegetais (0,5 L ha⁻¹) aplicada até a primeira ou última colheita dos frutos (T4 e T7) e o uso da maior dose dessa mistura até a primeira colheita (T5) se diferiram do tratamento com a menor dose aplicada até o final do ciclo do tomateiro (T6), sendo este último com menor acúmulo de sacarose comparado aos tratamentos citados. Já os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si para o teor de sacarose (Tabela 2). Segundo Albacete et al. (2014), o etileno inibe o crescimento dos drenos e diminui a atividade das invertases, nesse caso, a dose utilizada no tratamento T6, tendeu a alta produção de etileno e baixa demanda de fotoassimilados nos frutos.

As concentrações dos açúcares redutores (AR) não foram alteradas pelos tratamentos, com efeito similar aos frutos das plantas controle (Tabela 2). Os resultados para os açúcares redutores e não redutores, indicam que o efeito desses compostos nas vias bioquímicas são perceptíveis em estádios distintos de amadurecimento dos frutos, uma vez que o acúmulo de carboidratos é mais expressivo no pico respiratório pela rápida degradação das substâncias de reserva, em decorrência da alta taxa de etileno nos frutos.

A concentração de amido (A) nos frutos tratados com três e seis aplicações não apresentaram diferença estatística na degradação deste polissacarídeo. Apesar de não ter sido constatado diferença na concentração dos açúcares redutores e não redutores entre os tratamentos T1 e T5, foi verificado maior conteúdo de amido neste tratamento (T5), provavelmente pela ação do cobalto em inibir a síntese de etileno, em decorrência disso, a conversão do amido em açúcares foi mais lenta no T5, com impacto positivo no tempo de comercialização dos frutos.

2.3.1.2 Experimento II

Houve variação nos teores de sacarose nos frutos do experimento II (Tabela 3). As épocas de aplicações não influenciaram na produção deste carboidrato, porém, considerando as diferentes doses, foi verificado que o tratamento T4 e T7 foram mais eficientes na produção e armazenamento de SAC em relação aos frutos dos tratamentos T1 e T6. Vale ressaltar que T4 e T7 são tratamentos compostos pela mesma proporção de dose, porém aplicados três e seis vezes, respectivamente.

A síntese de sacarose é realizada principalmente pela sacarose fosfato sintase (SPS), enquanto a sua degradação e, conseqüentemente, o estabelecimento do dreno, pode ser realizada tanto pela sacarose sintase (SuSy) como pela invertase (TAIZ; ZEIGER, 2013). Desse modo, certifica-se que para melhor compreensão dos resultados nos teores de sacarose nos frutos, seria importante ter quantificado em ambos os experimentos a atividade dessas enzimas, objetivando verificar se as doses dos micronutrientes e reguladores vegetais inibiram ou induziram a atividade das enzimas envolvidas na síntese e degradação desse açúcar.

Tabela 3 - Média dos teores de sacarose (SAC, mg g⁻¹ de massa fresca), açúcares redutores (AR, mg g⁻¹ de massa fresca) e amido (A, mg g⁻¹ de massa fresca) em frutos de tomateiro híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais aos 105 DAT. São Manuel, SP, 2016

EXPERIMENTO II – 2017			
TRAT	SAC	AR	A
T1	16,21bc	5,06a	4,10c
T2	17,86ab	4,98a	4,56abc
T3	16,86abc	4,97a	4,24c
T4	18,46a	4,98a	4,30bc
T5	18,30ab	5,12a	4,81ab
T6	14,78c	4,66a	4,22c
T7	18,65a	5,19a	4,91a
T8	17,13ab	4,96a	4,93a
F	8,99*	0,23 ^{ns}	10,79*
C.V (%)	4,42	11,31	3,94

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem, significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5% de probabilidade, ^{ns} = não significativo. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

O uso dos micronutrientes e reguladores vegetais não interferiram no transporte e acúmulo dos açúcares redutores (AR) do órgão fonte para o dreno, mostrando que os tratamentos não influenciaram nas concentrações desse monossacarídeo quando comparado ao T1 (Tabela 3).

Os valores de amido nos tratamentos T5, T7 e T8 foram maiores do que nos frutos do tratamento T1, indicando que as doses desses tratamentos interferiram no processo de degradação do amido em moléculas de açúcares (Tabela 3).

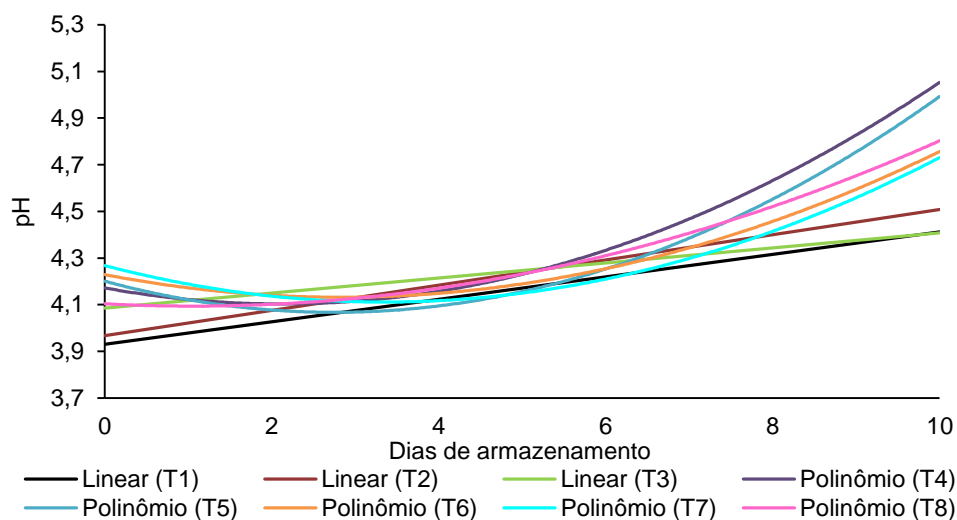
2.3.2 Caracterização físico-química

2.3.2.1 Experimento I

O pH apresentou resposta linear crescente para os tratamentos T1, T2 e T3, sendo obtido aos 10 dias de armazenamento 4,41; 4,51 e 4,41 de potencial hidrogeniônico, respectivamente (Figura 1). Quando se analisa o nível de aceitação de um produto, o pH é um fator importante, pois frutos excessivamente ácidos são rejeitados para o consumo (BORGUINI, 2002). Os demais tratamentos avaliados apresentaram ajuste quadrático, nessas circunstâncias, na escala logarítmica de acidez, o tratamento T4 apontou teor mínimo de 4,10 e o T5 de 4,06 aos 2 dias de armazenamento. Os valores mínimos constatados nos tratamentos T6 (4,13) e T7

(4,12) ocorreram aos 3 dias de armazenagem dos frutos, enquanto no tratamento T8 a concentração mínima foi constatada com apenas 1 dia de conservação.

Figura 1 - Valores do potencial hidrogeniônico (pH) avaliado em intervalos a cada dois dias (0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias de armazenamento) em tomate híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento I. São Manuel, SP, 2016.



Trat	Equação	F	p-valor	R ²
T1	$\hat{y} = 3,931 + 0,0481x$	105,29**	0,0001	0,87
T2	$\hat{y} = 3,968 + 0,054x$	22,05**	0,0001	0,58
T3	$\hat{y} = 4,086 + 0,03219x$	23,29**	0,0001	0,59
T4	$\hat{y} = 4,172 - 0,06489x + 0,01530x^2$	11,74**	0,004	0,78
T5	$\hat{y} = 4,201 - 0,09705x + 0,01762x^2$	22,54**	0,0001	0,75
T6	$\hat{y} = 4,229 - 0,06862x + 0,01214x^2$	31,77**	0,0001	0,80
T7	$\hat{y} = 4,268 - 0,09363x + 0,01399x^2$	25,51**	0,0001	0,60
T8	$\hat{y} = 4,104 - 0,01885x + 0,008869x^2$	5,01*	0,041	0,80

T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

Na Figura 1 observou-se que o pH do tratamento T4 decresceu até o segundo dia de armazenagem, com acréscimo a partir do quarto dia. Houve variação nos valores de pH do dia 0 para o dia 2 com decréscimo de 2,86% nos frutos do tratamento T5 e de 2,13% no T6. Por outro lado, nos dias subsequentes a tendência foi de aumento, com valores percentuais de 22% do quarto ao décimo dia no tratamento T5 e de 14,70% nos tomates do T6. Nos frutos do tratamento T7, a variação do pH entre o dia 0 e o décimo dia foi de 10,77%, com amplitude de 4,27 para 4,73. A taxa de pH nos frutos armazenados do tratamento T8 mantiveram-se

constantes até o segundo dia, com aumento de 15,11% do quarto ao décimo dia de avaliação.

É importante salientar que os tratamentos T1 e T2 no dia 0 apresentaram valores característicos de frutos muito ácidos (3,93 e 3,97, respectivamente), enquanto o T4 e T5 atingiriam no décimo segundo dia de armazenamento valores de 5,05 e 4,99, o que caracteriza baixa acidez nos frutos (Figura 1). Apesar disso, o uso dos micronutrientes e reguladores vegetais não afetaram o poder hidrogeniônico dos tomates durante o armazenamento, com índices oscilando dentro da escala de frutos considerados ácidos, o que define sabor agradável quando em equilíbrio com os teores de açúcares.

As características de qualidade dos frutos de tomate, principalmente aquelas relacionadas aos componentes do sabor, são muito importantes na escolha dos consumidores. Dentre elas, o conteúdo de sólidos solúveis e a acidez titulável são as mais utilizadas, uma vez que possibilitam determinar a intensidade do sabor nos frutos (CAUSSE et al., 2003; TIEMAN et al., 2017; KIMBARA et al., 2018).

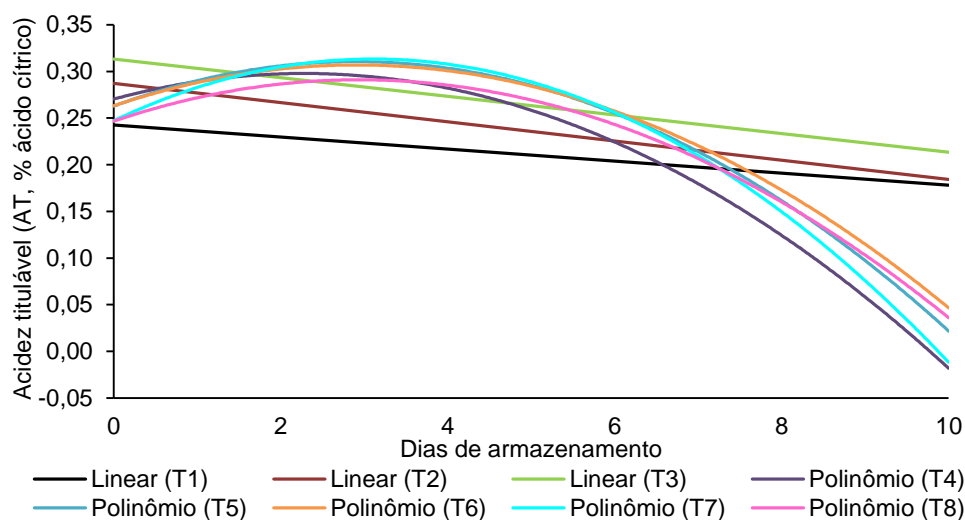
Nesse contexto, os valores de acidez titulável (AT) nos frutos dos tratamentos T1, T2 e T3 ajustaram-se ao modelo de regressão linear decrescente (Figura 2), isto é, as doses e épocas de aplicação reduziram a acidez nos frutos com o avanço do tempo de armazenamento, o que era esperado pelo aumento do potencial hidrogeniônico nesses tratamentos, uma vez que acidez e pH são inversamente proporcional (Figuras 1 e 2). Essa redução na porcentagem de ácido cítrico e acréscimo de pH aumenta a probabilidade de frutos deteriorados por microrganismos, em virtude dessa relação desencadear baixa acidez, além de alterar a qualidade gustativa dos frutos.

O tratamento T4 apresentou efeito quadrático, com teor máximo de 0,30% de ácido cítrico aos 2 dias de armazenamento, seguido dos tratamentos T5, T6 e T8 com maior pico de acidez aos 3 dias de armazenagem, com valores na ordem de 0,31; 0,30 e 0,29%. Já os frutos do tratamento T7 apresentaram quantidade máxima de acidez aos 4 dias de conservação, com 0,31% de ácido cítrico (Figura 2).

Com base nos valores da Figura 2, constatou-se aumento gradativo nos níveis de acidez nos frutos dos tratamentos T4 e T5 até o segundo dia de avaliação, a partir desse período houve redução de ácido cítrico. Nos tomates dos tratamentos T6 e T8 verificou-se, entre o dia 0 e 2, aumento de 15,38 e 16%, respectivamente, permanecendo até o quarto dia de avaliação. Após esse intervalo, pela maturação já

em estágio mais avançado, houve queda de 83,33% na concentração ácido cítrico no tratamento T6 e 86,21% no T8 aos 10 dias de armazenamento.

Figura 2 - Valores de acidez titulável (AT, % de ácido cítrico) avaliado em intervalos a cada dois dias (0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias de armazenamento) em tomate híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento I. São Manuel, SP, 2016.



Trat	Equação	F	p-valor	R ²
T1	$\hat{y} = 0,2427 - 0,006476x$	17,63**	0,001	0,52
T2	$\hat{y} = 0,2871 - 0,01029x$	23,24**	0,0001	0,59
T3	$\hat{y} = 0,3133 - 0,01x$	30,00**	0,0001	0,65
T4	$\hat{y} = 0,2703 + 0,02413x - 0,005298x^2$	27,84**	0,0001	0,88
T5	$\hat{y} = 0,2627 + 0,03305x - 0,005714x^2$	24,32	0,0001	0,73
T6	$\hat{y} = 0,2630 + 0,03015x - 0,005179x^2$	13,07**	0,003	0,59
T7	$\hat{y} = 0,2470 + 0,04258x - 0,006845x^2$	67,30**	0,0001	0,85
T8	$\hat{y} = 0,2467 + 0,03012x - 0,005119x^2$	15,75**	0,001	0,62

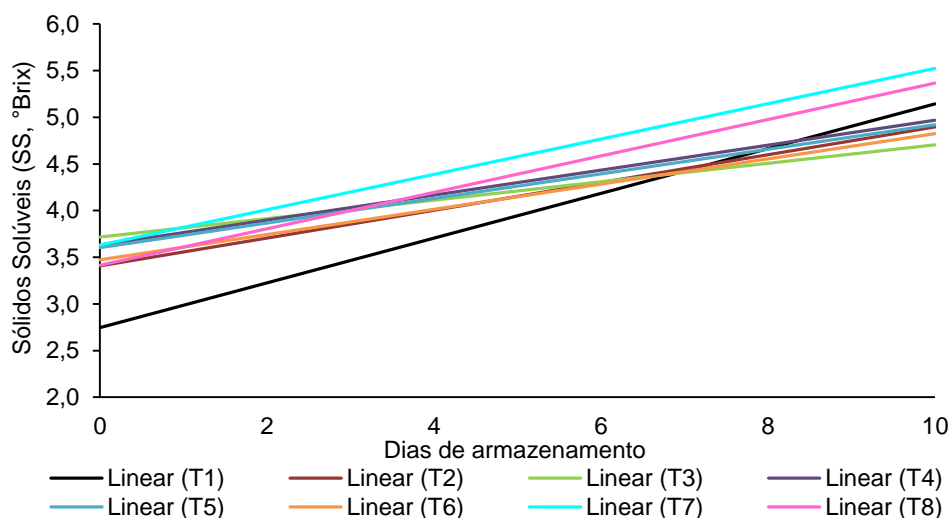
T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

No tratamento T7, os tomates apresentaram acréscimo de acidez até o quarto dia, após essa data o conteúdo de ácido cítrico diminuiu em decorrência das reações químicas e físicas que acometem os frutos nos estádios finais de amadurecimento, como observado nos demais tratamentos (Figura 2).

Para os valores de sólidos solúveis (SS) expressos em °Brix, todos os tratamentos apresentaram efeito linear crescente (Figura 3). Esse acréscimo no tempo é justificado pela queda de acidez expressa em íons de hidrogênio durante a maturação dos frutos, visto que nesse período os teores de ácidos orgânicos

aumentam e o pH diminui. De acordo com Lima et al. (2011) frutos de tomates de alta qualidade são caracterizados por conter mais de 0,32% de acidez titulável, 3% de sólidos solúveis e a relação entre esses dois fatores maior que 10%.

Figura 3 - Valores de sólidos solúveis (SS, °Brix) avaliado em intervalos a cada dois dias (0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias de armazenamento) em tomate híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento I. São Manuel, SP, 2016.



Trat	Equação	F	p-valor	R ²
T1	$\hat{y} = 2,746 + 0,2397x$	116,97**	0,0001	0,88
T2	$\hat{y} = 3,408 + 0,1490x$	565,53**	0,0001	0,97
T3	$\hat{y} = 3,717 + 0,09857x$	73,17**	0,0001	0,82
T4	$\hat{y} = 3,630 + 0,1337x$	179,14**	0,0001	0,92
T5	$\hat{y} = 3,602 + 0,1317x$	200,21**	0,0001	0,93
T6	$\hat{y} = 3,473 + 0,1350x$	236,57**	0,0001	0,94
T7	$\hat{y} = 3,630 + 0,1895x$	420,00**	0,0001	0,96
T8	$\hat{y} = 3,415 + 0,1951x$	150,88**	0,0001	0,90

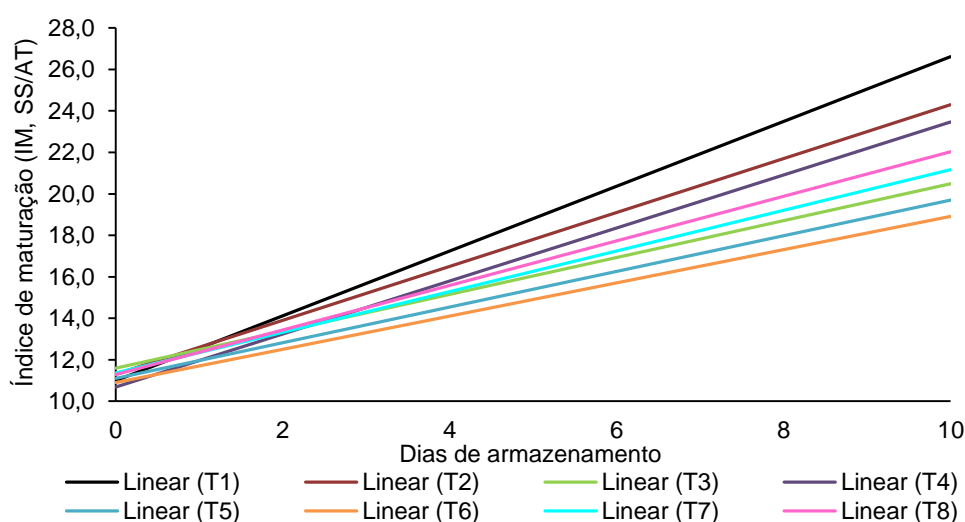
T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

Foi observado em todos os tratamentos que até o décimo dia os teores de sólidos solúveis não foram alterados pelo ambiente de armazenamento, visto que até esse período os valores de açúcares encontram-se dentro da faixa considerada ideal para o consumo (Figura 3).

O índice de maturação (IM) dos frutos é caracterizado pela relação entre o teor de sólidos solúveis e a concentração de acidez titulável. Considerando o ajuste dos resultados ao modelo linear crescente, do momento em que os frutos foram

armazenados (dia 0) até o décimo dia de acondicionamento, o índice de maturação aumentou 142,22% (T1); 114,85% (T2); 76,64% (T3); 119,46% (T4); 77,48% (T5); 73,58% (T6); 86,19% (T7) e 95,30% no tratamento T8 (Figura 4).

Figura 4 - Valores de índice de maturação (IM, SS/AT) avaliado em intervalos a cada dois dias (0, 2, 4, 6, 8 e 10 dias de armazenamento) em tomate híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento I. São Manuel SP, 2016.



Trat	Equação	F	p-valor	R ²
T1	$\hat{y} = 10,99 + 1,563x$	121,95**	0,0001	0,88
T2	$\hat{y} = 11,31 + 1,299x$	81,32**	0,0001	0,84
T3	$\hat{y} = 11,60 + 0,8887x$	76,67**	0,0001	0,83
T4	$\hat{y} = 10,69 + 1,277x$	105,91**	0,0001	0,87
T5	$\hat{y} = 11,10 + 0,8600x$	57,35**	0,0001	0,78
T6	$\hat{y} = 10,90 + 0,8015x$	42,85**	0,0001	0,73
T7	$\hat{y} = 11,37 + 0,9799x$	59,67**	0,0001	0,79
T8	$\hat{y} = 11,28 + 1,075x$	104,28**	0,0001	0,87

T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

De acordo com Sánchez-Rodríguez (2019) um fator importante na preferência dos consumidores é a elevada relação entre o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável, pois esta determina a qualidade dos frutos de tomate. Nessa conjuntura, Lima et al. (2011) afirma que para o consumo de frutos com paladar dentro dos padrões de comercialização a relação entre SS/AT deve ser maior que 10%.

Em síntese, verificou-se a que a velocidade metabólica dos frutos tendeu a ser mais rápida nos tomates do tratamento T1, resultante da ausência dos

micronutrientes e reguladores vegetais, envolvidos diretamente no retardo do pico climatérico. Segundo Foresto (2012) a auxina pode influenciar indiretamente no amadurecimento através da alteração do conjunto de receptores de etileno expressos no tecido em amadurecimento, tendo como consequência perturbações nos diversos metabolismos influenciados pelo etileno, como na degradação de amido e acúmulo de sacarose. Conforme Bonato (2015) a auxina também possui papel importante na formação de compostos voláteis do aroma em frutos de tomateiro, regulando de forma negativa este metabolismo, principalmente em relação aos compostos derivados de isoprenóides, os quais são característicos do fruto maduro.

Não houve variação para a perda de massa aos 2 dias de armazenamento dos frutos, no entanto, no quarto dia, a maior perda foi verificada no tratamento T1, com valor similar ao T2 e T7 (Tabela 4). A aplicação até o momento da primeira colheita ou até a última com a mesma dose apresentaram o mesmo comportamento.

Tabela 4 - Perda de massa (%) durante 12 dias de armazenamento em tomate híbrido Santy com aplicação micronutrientes e reguladores vegetais. São Manuel, SP, 2016.

TRAT	EXPERIMENTO I – 2016						PROD ton ha ⁻¹
	Dias de armazenamento						
	2	4	6	8	10	12	
T1	1,07a	6,33a	8,95a	10,72a	12,20a	100a	63,13ab
T2	1,67a	5,56ab	6,91bc	9,69a	10,28ab	100a	67,00a
T3	1,25a	4,71bc	7,86ab	9,48a	10,16ab	100a	45,57e
T4	1,52a	3,52c	8,15ab	9,94a	11,73a	100a	64,50a
T5	1,19a	4,12bc	5,31c	6,62b	7,46c	9,03c	66,13a
T6	1,01a	4,35bc	5,43c	7,61b	8,70bc	9,20c	55,80cd
T7	1,31a	4,79abc	7,86ab	10,53a	11,60a	12,66b	49,53de
T8	1,45a	4,36bc	7,91ab	9,81a	10,34ab	100a	49,53de
C.V.(%)	34,08	9,31	6,47	4,95	6,08	0,84	3,40

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem, significativamente entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade. **= significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Aos 6 dias de armazenagem, o tratamento T1 continuou a perder mais massa, paralelo ao T3, T4, T7 e T8. Ao comparar os tratamentos com três e seis aplicações, observou-se diferença estatística entre a menor (T3 e T6) e maior dose (T5 e T8) dos micronutrientes pulverizados com a mistura dos reguladores vegetais, nesse caso,

quando se usa a menor dose é necessário duplicar as aplicações para diminuir as perdas pós-colheita (T6). Em contrapartida, com o uso da maior dose da mistura desses compostos pode-se reduzir em 50% o número de aplicações a fim de estender o período de comercialização dos frutos (T5) (Tabela 4).

No oitavo e décimo dia de armazenamento, a perda de massa foi minimizada nos tratamentos T5 e T6, os demais apresentaram comportamento padrão (Tabela 4). No décimo segundo dia de armazenagem, os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T8 foram descartados por apresentarem 100% de danos ocasionados por murchamento, doenças, podridão, dentre outros aspectos inviáveis comercialmente. O T5 e T6 permaneceram com baixa perda de massa, nessa avaliação o tratamento T7 apesar de diferir destes tratamentos, também apresentou perda de massa reduzida. Os resultados para o tratamento T5 e T6 corroboram com os dados de índice de maturação (Figura 4), visto que nesses tratamentos o metabolismo respiratório dos frutos foi mais lento em relação ao controle (T1), apresentando redução no IM de 25,99 e 28,92%, respectivamente.

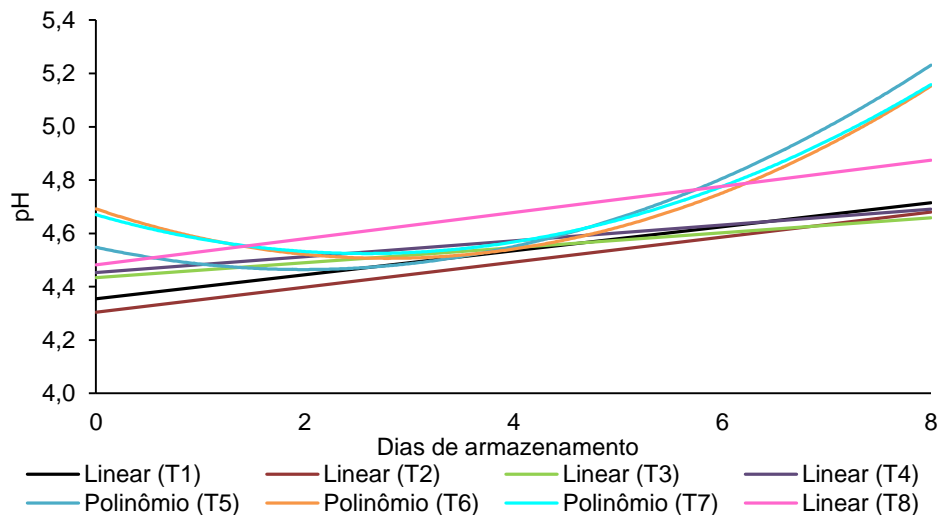
O tratamento T5, apesar de apresentar produtividade semelhante aos tratamentos T1, T2 e T4, se destacou em relação a qualidade pós-colheita, por aumentar o tempo de prateleira dos tomates.

2.3.2.2 Experimento II

O índice de pH nos frutos dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T8 aumentou linearmente em função das doses e épocas de aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais (Figura 5). Esse incremento no potencial hidrogeniônico é decorrente do decréscimo nas concentrações de ácido cítrico nesses tratamentos (Figura 6). Já o tratamento T5 apresentou efeito quadrático, com valor mínimo de 4,46 aos 2 dias de armazenamento. Nos frutos dos tratamentos T6 e T7 o modelo matemático de melhor ajuste também foi o quadrático, com valores mínimos na ordem de 4,49 e 4,52 aos 3 de armazenamento.

Por meio da Figura 5, notou-se que os tratamentos T5, T6, T7 e T8 apresentaram comportamento padrão, com queda de pH até o segundo dia de avaliação, a partir do quarto dia o potencial hidrogeniônico da solução vacuolar aumentou.

Figura 5 - Valores do potencial hidrogeniônico (pH) avaliado em intervalos a cada dois dias (0, 2, 4, 6 e 8 dias de armazenamento) em tomate híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento II. São Manuel, SP, 2017.



Trat	Equação	F	p-valor	R ²
T1	$\hat{y} = 4,355 + 0,045x$	185,82**	0,0001	0,93
T2	$\hat{y} = 4,304 + 0,047x$	141,75**	0,0001	0,92
T3	$\hat{y} = 4,434 + 0,028x$	13,00**	0,003	0,50
T4	$\hat{y} = 4,453 + 0,02967x$	7,39*	0,018	0,36
T5	$\hat{y} = 4,548 - 0,08414x + 0,02119x^2$	9,41**	0,010	0,76
T6	$\hat{y} = 4,692 - 0,1329x + 0,02381x^2$	16,84**	0,001	0,61
T7	$\hat{y} = 4,670 - 0,1123x + 0,02167x^2$	12,66**	0,004	0,61
T8	$\hat{y} = 4,482 + 0,049x$	66,21**	0,0001	0,84

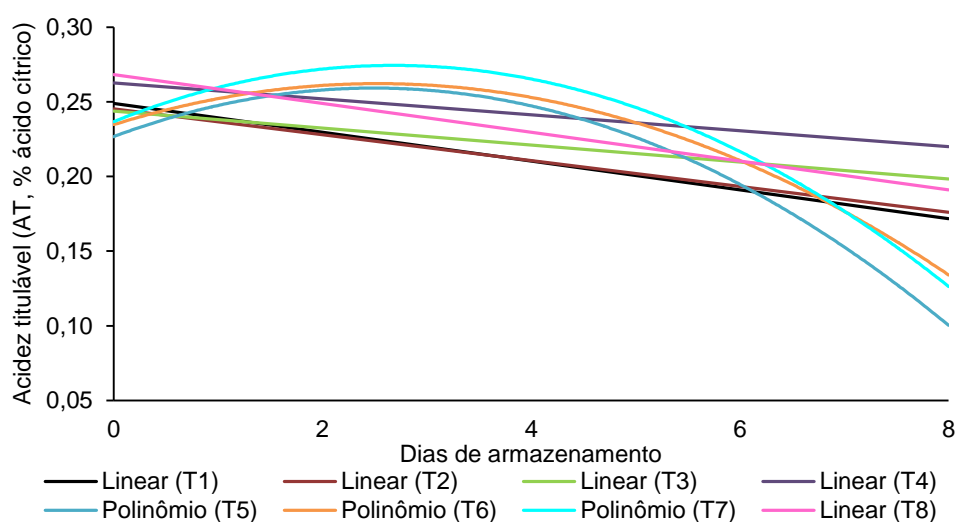
T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

Os resultados atestam que as doses combinada as épocas de aplicações aceleraram o processo de degradação dos ácidos orgânicos nesses tratamentos, com maior consumo desses compostos com o tempo de armazenamento, o que elevou o pH. Essa relação impacta diretamente na pós-colheita dos frutos, principalmente, no sabor e no tempo de prateleira nos centros consumidores.

A acidez titulável foi reduzida de forma linear nos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T8 (Figura 6) em virtude do acréscimo do pH nos frutos destes tratamentos (Figura 5). A concentração de ácido cítrico caiu 32% nos frutos do tratamento T1 entre o primeiro e último dia de armazenamento. Enquanto nos frutos tratados apenas com a mistura dos reguladores vegetais a queda foi de 28%. Nos tomates que foram

aplicados três vezes a combinação dos micronutrientes com os reguladores vegetais, o declínio de acidez titulável correspondeu a 16,67% nos frutos do tratamento T3 e de 15,38% no tratamento T4. A proporção de queda no T8 foi equivalente a 29,63%.

Figura 6 - Valores de acidez titulável (AT, % de ácido cítrico) avaliado em intervalos a cada dois dias (0, 2, 4, 6 e 8 dias de armazenamento) em tomate híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento II. São Manuel, SP, 2017.



Trat	Equação	F	p-valor	R ²
T1	$\hat{y} = 0,2490 - 0,009667x$	91,87**	0,0001	0,88
T2	$\hat{y} = 0,2453 - 0,008667x$	34,87**	0,0001	0,73
T3	$\hat{y} = 0,2437 - 0,005667x$	7,08*	0,020	0,35
T4	$\hat{y} = 0,2627 - 0,005333x$	8,67*	0,011	0,40
T5	$\hat{y} = 0,2267 + 0,02610x - 0,005238x^2$	9,30**	0,010	0,57
T6	$\hat{y} = 0,2347 + 0,02171x - 0,004286x^2$	6,42*	0,026	0,46
T7	$\hat{y} = 0,2367 + 0,02810x - 0,005238x^2$	6,15*	0,029	0,40
T8	$\hat{y} = 0,2683 - 0,009667x$	52,82**	0,0001	0,80

T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

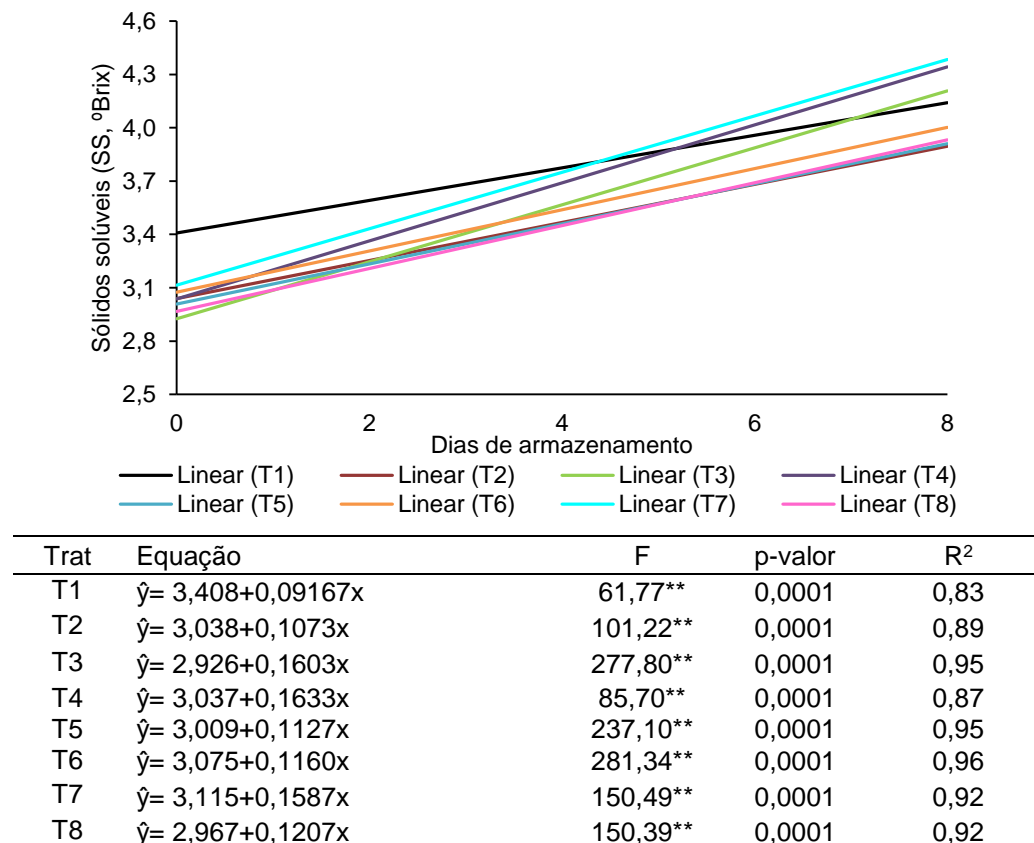
Geralmente, a diminuição observada na acidez pode ser atribuída a uma série de fatores, como a transformação de ácidos em outros compostos e a capacidade reduzida dos frutos de sintetizar ácidos durante a maturação (SHAARAWI e NAGY, 2017). Pelo modelo quadrático, os tratamentos T5 e T7 apresentaram maior grau de acidez titulável aos 3 dias de armazenamento, com valores proporcionais a 0,30 e 0,28%, respectivamente (Figura 6). A porcentagem de ácido cítrico no tratamento T5

aumentou 13,04% do dia 0 para o dia 2, após esse período, pela elevação nos índices de pH a concentração desse ácido orgânico caiu 56,52%. A acidez titulável nos tomates do tratamento T7 apresentou pouca variação até o quarto dia de armazenamento, com queda nas avaliações posteriores, efeito mais acentuado no oitavo dia de conservação. Nesse período a quantidade de ácido cítrico presente no vacúolo das células dos frutos deste tratamento foi de 0,13.

Por meio dos dados verificados na Figura 6, as concentrações de ácido cítrico em todos os tratamentos ficaram abaixo da considerada ótima para o tomate, que segundo Lima et al. (2011) deve ser em torno de 0,32%. No entanto, a relação com os outros atributos físico-químicos avaliados garantiu o equilíbrio de sabor aos frutos.

Houve acréscimo no conteúdo de sólidos solúveis conforme se prolongou os dias de armazenamento dos frutos (Figura 7).

Figura 7 - Valores de sólidos solúveis (SS, °Brix) avaliado em intervalos a cada dois dias (0, 2, 4, 6 e 8 dias de armazenamento) em tomate híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento II. São Manuel, SP, 2017.



T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

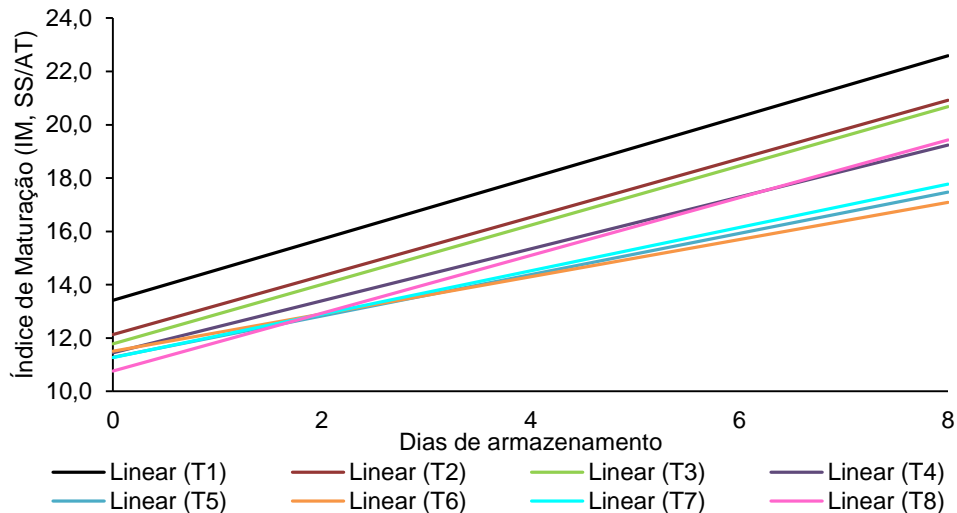
Os teores de açúcares aumentaram linearmente em todos os tratamentos avaliados, indicando haver incremento dessa variável até o oitavo dia de conservação dos frutos. Nessas circunstâncias, entre o primeiro e oitavo dia de avaliação (0 e 8) o aumento verificado no T1 foi de 21,41%, enquanto no T2 foi de 28,29% (Figura 7). Nos tomates tratados até a primeira colheita dos frutos a taxa de incremento chegou a 43,69% no tratamento T3; 42,76% no T4 e 29,90% no T5. Quando as aplicações procederam até a última colheita dos frutos, a concentração de açúcares subiu 29,87% nos tomates do T6; 40,38% no T7 e 32,32% no tratamento T8.

Sabe-se que o aumento de sólidos solúveis associado com alto índice de acidez titulável resulta em frutos com sabor agradável ao consumidor. Essas mudanças químicas nos frutos, no entanto, são alteradas com o avanço do amadurecimento em decorrência do consumo do ácido cítrico pela respiração, reduzindo desta forma, os níveis de açúcares pelo aumento do potencial hidrogeniônico.

Todos os tratamentos apresentaram resposta linear crescente para o índice de maturação, com valor mínimo de 13,41 e máximo de 22,59 (T1); 12,13 e 20,91 (T2); 11,78 e 20,68 (T3); 11,44 e 19,23 (T4); 11,28 e 17,48 (T5); 11,51 e 17,08 (T6); 11,26 e 17,77 (T7), enquanto no tratamento T8 o menor valor na velocidade de maturação foi de 10,76 e maior de 19,42 (Figura 8).

Rosa et al. (2011) propuseram a relação entre o teor de açúcar e a acidez titulável como parâmetro ideal para estimar o sabor dos frutos de tomate visando o aumento da qualidade organoléptica. Para os autores, se a relação for superior a 10 indica frutos de alta qualidade, o que tem sido amplamente utilizado para a caracterização do sabor em diversos estudos (RIPOLL et al., 2016; BERTIN; GENARD, 2018). Baseado nessa afirmação, os tratamentos apresentaram índice de maturação dentro dos padrões de qualidade, no entanto, observou-se no T1 e T2 que a evolução da maturidade foi mais acelerada nesses tratamentos, com índice em torno de 20% no oitavo dia de armazenamento (Figura 8).

Figura 8 - Valores de índice de maturação (IM, SS/AT) avaliado em intervalos a cada dois dias (0, 2, 4, 6 e 8 dias de armazenamento) em tomate híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. Experimento II. São Manuel, SP, 2017.



Trat	Equação	F	p-valor	R ²
T1	$\hat{y} = 13,41 + 1,147x$	157,01**	0,0001	0,92
T2	$\hat{y} = 12,13 + 1,098x$	94,19**	0,0001	0,88
T3	$\hat{y} = 11,78 + 1,112x$	67,59**	0,0001	0,84
T4	$\hat{y} = 11,44 + 0,9743x$	66,21**	0,0001	0,84
T5	$\hat{y} = 11,28 + 0,7748x$	39,12**	0,0001	0,75
T6	$\hat{y} = 11,51 + 0,6968x$	28,51**	0,0001	0,69
T7	$\hat{y} = 11,26 + 0,8143x$	26,07**	0,0001	0,67
T8	$\hat{y} = 10,76 + 1,083x$	140,85	0,0001	0,92

T1= Controle; **T2=** IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7=** Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8=** Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA=** ácido indolilbutírico (auxina); **Kt=** cinetina (citocinina); **GA₃=** ácido giberélico (giberelina); **Co=** cobalto; **Mo=** molibdênio.

A falta das auxinas, citocininas e giberelinas associadas ao cobalto e molibdênio no tratamento T1 e a carência dos micronutrientes no T2 contribuiu para aumentar a respiração e transpiração dos frutos, desencadeando maior produção de etileno.

Pelos dados obtidos para perda de massa (Tabela 5), infere-se que valores de índice de maturação acima de 17% pode reduzir o tempo de consumo *in natura* do fruto, com queda no aceite comercial. Nesse contexto, os micronutrientes misturados aos reguladores vegetais são práticas de manejo que interferem na composição e qualidade do fruto, otimizando o tempo de comercialização.

Aos 2 dias de armazenamento, não houve diferença estatística entre os tratamentos na variável perda de massa. No quarto dia de avaliação, o tratamento

T1 apresentou 7,72% de perda de massa, seguido do tratamento T2 (6,42%), o que comprova a influência dos micronutrientes na respiração dos frutos, em particular, o cobalto pelo papel que exerce na rota da biossíntese do etileno (Tabela 5). Nesse período não foi observado diferença entre os tratamentos com as doses aplicadas três e seis vezes durante a permanência da cultura no ambiente de cultivo.

Tabela 5 - Perda de massa (%) durante 10 dias de armazenamento em tomate híbrido Santy com aplicação de micronutrientes e reguladores vegetais. São Manuel, SP, 2017.

EXPERIMENTO II – 2017						
TRAT	Dias de armazenamento					PROD ton ha ⁻¹
	2	4	6	8	10	
T1	2,81a	7,72a	9,64a	11,19a	100,00a	61,18e
T2	2,24ab	6,42ab	7,42abc	10,56a	100,00a	86,00b
T3	1,43b	5,52bc	8,43ab	10,49a	11,70bc	73,87d
T4	1,66ab	3,99c	9,16a	11,55a	100,00a	72,93d
T5	1,51ab	5,17bc	6,07c	7,22b	8,84d	91,17a
T6	1,45ab	5,08bc	6,55bc	8,36b	10,16cd	72,23d
T7	1,94ab	5,09bc	8,50ab	11,21a	12,60b	79,70c
T8	2,00ab	5,20bc	8,56ab	10,78a	100,00a	80,27c
F	3,00*	7,04*	7,14*	17,11*	18294,42*	131,48*
C.V(%)	25,32	13,08	10,09	6,34	1,10	1,76

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem, significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5% de probabilidade. **T1**= Controle; **T2**= IBA + GA₃ + Kt (0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita; **T3**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T4**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T5**= Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a primeira colheita; **T6**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (0,5 + 0,5 L ha⁻¹); **T7**= Co + Mo + IBA + GA₃ + Kt (1 + 0,5 L ha⁻¹); **T8**= Co + Mo + IBA + GA₃ (2 + 0,5 L ha⁻¹) - aplicação no início da florada até a última colheita. **IBA**= ácido indolilbutírico (auxina); **Kt**= cinetina (citocinina); **GA₃**= ácido giberélico (giberelina); **Co**= cobalto; **Mo**= molibdênio.

Aos 6 dias de conservação, o tratamento composto da maior dose de cobalto e molibdênio aplicado com 0,5 L ha⁻¹ dos reguladores vegetais com três pulverizações apresentou menor perda de massa (T5), seguido do T6 e T2. Entre as épocas de aplicações, houve diferença estatística apenas na maior dose da mistura desses compostos (T5 e T8), com percentual de perda em torno de 41,02% quando se estenderam as aplicações até o final do ciclo (T8). Aos 8 dias de armazenamento, os tratamentos T5 (7,22%) e T6 (8,36%) apresentaram menor perda de massa (Tabela 5).

No último dia de avaliação, os tratamentos T1, T2, T4 e T8 apresentaram índice elevado de frutos deteriorados, como enrugamento da casca, presença de patógenos e outras alterações na textura dos frutos que afetam o aspecto comercial, nessas circunstâncias, a perda de massa nestes tratamentos foi de 100% (Tabela 5). Contudo, nesse período o T5 proporcionou maior resistência dos tecidos em

relação a perda de água para o ambiente, o que acarretou em apenas 8,84% de perda de massa. Análogo a este tratamento, os tomates do T3, T6 e T7 também se classificaram com maior longevidade dos frutos aos 10 dias de armazenamento.

Em tese, constatou-se que o uso da maior dose dos micronutrientes pulverizada em conjunto com a dose dos reguladores vegetais associada ao menor número de aplicações (T5), além figurar como alternativa que viabiliza a vida útil pós-colheita dos frutos, também é viável economicamente, permitindo aos tomaticultores produção com bons rendimentos e de qualidade.

2.4 CONCLUSÃO

Os tratamentos não influenciaram no acúmulo de açúcares redutores e não redutores nos dois anos de cultivo.

As concentrações de amido foram mais altas nas plantas dos tratamentos com a mistura de Co + Mo na dose de 2,0 L ha⁻¹ associado ao IBA + GA₃ + Kt na dose de 0,5 L ha⁻¹ com três pulverizações (experimento I) e com a combinação de Co + Mo na dosagem de 0,5 L ha⁻¹ com IBA + GA₃ + Kt na dose de 0,5 L ha⁻¹ aplicado seis vezes durante o ciclo da cultura (experimento II).

O tratamento com a combinação dos micronutrientes [(Co + Mo - 2,0 L ha⁻¹) com os reguladores vegetais (IBA + GA₃ + Kt - 0,5 L ha⁻¹)] aplicado somente 3 vezes apresentou o menor índice de maturação e perda de massa durante o armazenamento dos frutos para os dois experimentos avaliados.

REFERÊNCIAS

- ALBACETE, A. A.; MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C.; PÉREZ-ALFOCEA, F. Hormonal and metabolic regulation of source-sink relations under salinity and drought: From plant survival to crop yield stability. **Biotechnology Advances**, New York, v.32, n.1, p.12-30, 2014.
- AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemistry international**. 18. ed. Gaithersburg, 2005. 1015p.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Software AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015. 396p.
- BERTIN, N.; GÉNARD, M. Review tomato quality as influenced by preharvest factors. **Scientia Horticulturae**, Holanda, v. 233 p.264-278, 2018.
- BONATO, V. C. B. **Interação etileno-auxina e sua influência na produção de compostos voláteis do aroma durante o amadurecimento do tomate (*Solanum lycopersicum*)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- BORGUINI, R. G. **Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) orgânico: o conteúdo nutricional e a opinião do consumidor**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1018p.
- CAUSSE, M.; BURET, M.; ROBINI, K.; VERSCHAVE, P. Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. **Journal of Food Science**, Inglaterra, v.68, n.7, p.2342-2350, 2003.
- CESARIN, V. **Manejo de micronutrientes na cultura da soja**. IPNI - International Plant Nutrition Institute. 2018. Disponível em <[http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/9112cc0bea8dbbe883257e42006d81c4/\\$FILE/Palestra%20Valter%20Casarin%20-%20Micronutrientes.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/9112cc0bea8dbbe883257e42006d81c4/$FILE/Palestra%20Valter%20Casarin%20-%20Micronutrientes.pdf)>. Acesso em: 27 de set. 2018.
- CHITARRA, M. I. F; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783p.
- FAO. FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. **Statistical Yearbook**. New York, 2019. Disponível em: www.fao.com. Acesso em: 19 jul. 2019.
- FORESTO, M. F. **Influência da aplicação de ácido indol-3-acético na expressão dos receptores de etileno e na atividade de duas enzimas relacionadas ao**

metabolismo de amido em bananas. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências do Alimento) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

GARCIA, I.S., SOUZA, A., BARBEDO, C.J., DIETRICH, S.M.C. E FIGUEIREDO-RIBEIRO, R.C.L. Changes in soluble carbohydrates during storage of *Caesalpiniae chinata* Lam. (Brazilwood) seeds, an endangered leguminous tree from the Brazilian atlantic forest. **Brazilian Journal Biology**, São Carlos, v. 66, n.2, p.739-745, 2006.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2019. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola**. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2019_jan.pdf jan. 2019. Acesso: em 12 set. 2019.

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

IPNI. International Plant Nutrition Institute. 2018. **Informação agrônômica sobre nutrientes para as plantas: Molibdênio**. Ed nº 13. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/nutrifactsbrasil.nsf/0/6C8B0488A134F57A83258186004C1F0D/\\$FILE/NutriFacts-BRASIL-13.pdf](http://www.ipni.net/publication/nutrifactsbrasil.nsf/0/6C8B0488A134F57A83258186004C1F0D/$FILE/NutriFacts-BRASIL-13.pdf). Acesso em: 23 set. 2019.

KIMBARA, J.; OHYAMA, A.; CHIKANO, H.; ITO, H.; HOSOI, K.; NEGORO, S. QTL mapping of fruit nutritional and flavor components in tomato (*Solanum lycopersicum*) using genome-wide SSR markers and recombinant inbred lines (RILs) from an intra-specific cross. **Euphytica**, Wageningen, v.11, p.214-210, 2018.

KOSTOVA, D., MEHANDJIEV, D. The influence of fertilization upon the content of molybdenum in tomatoes. **Journal of Chemical Technology**, Sófia, v.48, n. 4, p.366-372, 2013.

LIMA, A. A.; AVARENGA, M. A. R.; RODRIGUES, L.; CARVALHO, J. G. Concentração foliar de nutrientes e produtividade do tomateiro cultivado sob diferentes substratos e doses de ácidos húmicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.29, n.1, p.63-69, 2011.

MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v.31, n.3, p. 426-428, 1959.

MORRIS, D. L. Quantitative determination os carbohydrates with Derwood's anthrone reagent, **Science**, Washington, v. 5, n.107, p. 254-255, 1948.

PASSOS, L. P. **Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal**. Embrapa Gado de leite: Coronel Pacheco, 223p, 1996.

RIPOLL, J.; URBAN, J.; BRUNEL, B.; BERTIN, N. Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. **Journal Plant Physiology**, Waterbury, v.190, p.26-35, 2016.

RODRIGUES, J. D., FIOREZE, S. L. Reguladores são, para muitos cultivos, indispensáveis ao alcance de bons níveis. **Visão agrícola**, Piracicaba, n. 13, p. 35-

39, 2015. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA13Fisiologia-artigo4.pdf>. Acesso em: 18 set. 2019.

ROSA, C. L. S.; SOARES, A. G.; FREITA, D. F. G. C.; ROCHA, M. C.; FERREIRA, J. C. S.; GODAY, R. L. O. Caracterização físico-química, nutricional e instrumental de quatro acessos de tomate italiano (*lycopersicon esculentum* mill) do tipo 'Heirloom' produzido sob manejo orgânico para elaboração de polpa concentrada. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.22, n.4 p.649-656, 2011.

SÁNCHEZ-RODRIGUEZ, L.; ALI N. S.; CANO-LAMADRID, M.; NOGUEIRA-ATIAGA, L.; LIPAN, L.; CARBONELL-BARRACHINA, Á.A.; SENDRA, E. Flavors and Aromas. **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetable**, Alexandria, v. 18, p.385-404, 2019.

SANTOS, J. P.; BORGES, T. S.; SILVA, N. T.; ALCANTARA, E.; REZENDE, R. M.; FREITAS, A. S. Efeito de bioestimulante no desenvolvimento do feijoeiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 15, n. 1, p. 815-824, 2017.

SHAARAWI, S. M. A.; NAGY, K. S. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Fruit Quality of "Wonderful" Pomegranate under Cold Storage Conditions. Middle East. **Journal of Agriculture Research**, Cairo, v.6, n.2, p. 495-505, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 848p.

TIEMAN, D.; ZHU, G.; RESENDE, M. F. R.; LIN, T.; NGUYEN, C.; BIES, D.; RAMBA, J. L.; BELTRAN, K. S. O.; TAYLOR, M.; ZHANG, B.; IKEDA, H.; LIU, Z.; FISHER, J.; ZEMACH, I.; MONFORT, A.; ZAMIR, D.; GRANELL, A.; KIRST, M.; HUANG, S.; KLEE, H. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. **Plant Science**, Limerick v.355, n.6323, p.391-394, 2017.

VENDRUSCOLO, E. P.; RABELO, R. S.; CAMPOS, L. F. C.; MARTINS, A. P. B.; SEMEMSATO, L.R.; SELEGUINI, A. Alterações físico-químicas em frutos de melão rendilhado sob aplicação de bioestimulante. **Revista colombiana de ciências hortícolas**, Tunja, v.11, n.2, p. 459-463, 2017.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, Colchester, v.57, n.3, p.508-514, 1954.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, nota-se que as divergências com a aplicação da mistura dos micronutrientes e reguladores vegetais de maneira isolada ou simultaneamente no experimento I e II ocorreram pelas condições adversas de cultivo.

Contudo, infere-se que as principais diferenças entre o experimento I e II quanto aos parâmetros fisiológicos, bioquímicos, produtivos e de qualidade do fruto é atribuída ao local e período de condução dos experimentos, pois sabe-se que o genótipo é influenciado pelo ambiente, estando a planta mais suscetível aos fatores bióticos e abióticos, a depender da época em que a cultura é manejada, já que o tomateiro é totalmente dependente do fator clima, principalmente, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar. As flutuações climáticas durante o desenvolvimento da planta são atenuadas em condições de ambiente protegido, por permitir maior controle contra as intempéries ambientais comparado ao cultivo em campo aberto.

A cultura do tomateiro apresenta nível tolerável às condições térmicas de acordo com cada fase fenológica. Durante a fase experimental não foi possível aferir a temperatura e umidade relativa do ar dentro da estufa onde foram conduzidos os experimentos, no entanto, denota-se que a aplicação dos micronutrientes e reguladores vegetais foi uma alternativa que viabilizou a produção diante das condições de termoperiodicidade na região de cultivo.

É de conhecimento também, que temperaturas desfavoráveis afetam a produção de pólen, nesse caso, pelo papel que o molibdênio exerce na viabilidade desses grãos, esse micronutriente contribuiu para otimizar a produção de flores aumentando o potencial produtivo do tomateiro mesmo com as flutuações climáticas do local. Além disso, em temperaturas elevadas, a produção de etileno aumenta consideravelmente, com impacto na abscisão de flores e frutos. Nessas circunstâncias, a utilização do cobalto na concentração de 2% auxiliou na fixação dos frutos e no retardo da maturação devido a função que desempenha como inibidor da síntese de etileno.

As condições térmicas associadas a oscilação da umidade relativa também desencadeou o aparecimento de pragas, doenças e distúrbios fisiológicos. A área em que foi conduzido o experimento I encontrava-se há um ano com cultivo de mamona, o que pode ter contribuído para a redução de patógenos do solo, sendo

esta uma das vantagens da rotação de cultura. Já o experimento II, apesar de todas as práticas de manejo adotadas para o controle de patógenos, o nível de pragas e doenças foi agravado pelo histórico da área que já havia sido manejada com tomateiro em cultivos anteriores, o que implicou em maiores perdas de frutos comerciais.

Nos dois experimentos, o sistema enzimático apontou maior expressividade para a enzima superóxido dismutase (SOD), possivelmente pela ação catalítica dessa enzima em se comportar como a primeira na linha de defesa antioxidativa. É importante frisar que os resultados encontrados para o sistema enzimático e metabolismo oxidativo, resultaram em respostas divergentes no meio intracelular pelo fato das coletas terem ocorrido em diferentes fases fenológicas da cultura, que naturalmente desencadeiam reações químicas que culminam na produção de espécies reativas de oxigênio. Com isso, as variações observadas podem ser resultantes tanto da indução aos tratamentos, como também pelos dias que sucederam as coletas foliares, acrescida das condições climáticas que determinaram o potencial redox das plantas de tomateiro.

A assimilação de CO_2 é um importante parâmetro para avaliar o carbono que foi fixado pelos estomas das plantas, entretanto, ao confrontar esses resultados com as variáveis de produção, certifica-se que nem tudo que foi assimilado na fase fotoquímica foi necessariamente utilizado pela planta na fase bioquímica. Os resultados indicam que a dose quando bem manejada implica na cadeia de transporte de elétrons nos tilacoides e nas modificações das células guardas e conseqüentemente, na assimilação de CO_2 e redução da perda de água pela transpiração, favorecendo a planta no processo de eficiência hídrica e posterior produção de biomassa. Em suma, percebe-se que as diferenças constatadas nos parâmetros fisiológicos entre os dois experimentos ocorreram pelo fato dessas análises serem medidas pontuais e não no tempo, nessas circunstâncias, o que esclareceria de forma mais precisa esses resultados seria a análise de crescimento das plantas.

As variações constatadas no acúmulo de carboidratos e na pós-colheita dos frutos pode ser justificada pela maturidade fisiológica no momento da colheita, visto a dificuldade em padronizar todos os frutos no mesmo estágio de maturação, o que interferiu diretamente na resposta entre os tratamentos.

Em tese, as doses utilizadas com as respectivas épocas de aplicações dos micronutrientes e reguladores vegetais interferem na produção e qualidade de frutos de tomateiro, no entanto, são necessários mais estudos variando doses acima e abaixo das testadas no presente trabalho, associado ao período fenológico da cultura, a fim de reduzir as variações entre um ano de plantio para o outro, garantindo desta forma estabilidade de produção em escala comercial.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. M.; RODRIGUES, J. G. L. Desenvolvimento de plantas através da interferência de auxinas, citocininas, etileno e giberilinas. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v.9, n.3, p.111-117, 2016.
- ALMEIDA, L. da S.; GUIMARÃES, E. C. Geoestatística para determinação e modelagem da variabilidade espacial de micronutrientes no solo cultivado com cafeeiro no município de Araguari–MG. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v.26, n.2, p.158-173, 2017.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2ed. Lavras: UFLA, 2013. 455p.
- CATO, S. C. **Ação de bioestimulante nas culturas do amendoim, sorgo e trigo e interações hormonais entre auxinas, citocininas e giberelinas**. 2006. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- COBUCCI, T.; NASCENTE, A. S.; PEREIRA FILHO, C. R.; MACHADO, A. A.; OLIVEIRA, K. das G. B.; CARVALHO, A. B. A. **Efeitos de reguladores vegetais aplicados em diferentes estágios de desenvolvimento do feijoeiro comum**. Documentos, IAC, Campinas, n.85, p.1368-1371, 2008.
- DAVIES, P, J.; SPONSEL, V. **Giberelinas: Reguladores da altura das plantas e da germinação de sementes**. In: TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p.581-618.
- de MATTOS, E. A. Perspectives in comparative ecophysiology of some Brazilian vegetation types: Leaf CO₂ and H₂O gas exchange, chlorophyll a fluorescence and carbon isotope discrimination. In: SCARANO, F. R. & FRANCO, A C. (Ed.). Ecophysiological Strategies of Xerophytic and Amphibious Plants in the Neotropics. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.4. n.1, p.1-22, 1998.
- FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2017. **Production Crops**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 30 set. 2018.
- FERREIRA, S. M. R.; QUADROS, D. A.; KARKLE, E. N. L.; LIMA, J. J.; TULLIO, L. T.; FREITAS, R. J. S. Qualidade pós-colheita do tomate de mesa convencional e orgânico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n.4, p.858-864, 2010.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização**. Viçosa: UFV, 2008. 421p.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2018. **Estatística mensal da produção agrícola: Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/62ff13bdd3554efec8535a90712651b9.pdf. Acesso em: 10 set. 2019.
- IPNI. International Plant Nutrition Institute. 2018. **Informação agrônômica sobre nutrientes para as plantas: Molibdênio**. Ed n° 13. Disponível em:

[http://www.ipni.net/publication/nutrifactsbrasil.nsf/0/6C8B0488A134F57A83258186004C1F0D/\\$FILE/NutriFacts-BRASIL-13.pdf](http://www.ipni.net/publication/nutrifactsbrasil.nsf/0/6C8B0488A134F57A83258186004C1F0D/$FILE/NutriFacts-BRASIL-13.pdf). Acesso em: 23 set. 2019.

LAMAS, F. M. Reguladores de Crescimento. In: Embrapa Agropecuária Oeste. **Algodão: tecnologia de produção**, Dourados: Embrapa algodão, 2001. 296 p.

MELO, P. C. T.; MELO, A. M. T. **Avanços e principais gargalos da cadeia brasileira de tomate de mesa**. In: Miriam Lins Oliveira. (Org.). Anuário HF 2014 - Campo & Negócios. 1ª. ed. Uberlândia: Campo & Negócios, 2014, v.01, p.06-14.

MUCHATE, N. S., NIKALJE, G. C., RAJURKAR, N. S., SUPRASANNA, P.; NIKAM, T. D. Plant Salt Stress: Adaptive Responses, Tolerance Mechanism and Bioengineering for Salt Tolerance. **Botanical Review**, New York, v.82, n.4, p.371–406, 2016.

NASCIMENTO, I. R. Cresce a demanda por mini tomate italiano. **Revista Campo & Negócios HF**, Uberlândia, v.70, p.42-43, 2011.

PARIDA, A. K.; VEERABATHINI, S. K.; KUMARI, A.; AGARWAL, P. K. Physiological, Anatomical and Metabolic Implications of Salt Tolerance in the Halophyte *Salvadora persica* under Hydroponic Culture Condition. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.7, p.1-18, 2016.

RAVEN, P. H.; EVERT R. F.; EICHHORN S. E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906p.

RODRIGUES, L. A.; BATISTA, M. S.; ALVAREZ, R. C. F.; LIMA, S. F.; ALVES, C. Z. Avaliação fisiológica de sementes de arroz submetidas a doses de bioestimulante, **Revista Nucleus**, Ituverava, v.12, n.1, 2015.

SCHWARZ, G. Molybdenum cofactor and human disease. **Current Opinion in Chemical Biology**, Amsterdã, v.31, p.179-187, 2016.

SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. de. **Soja: molibdênio e cobalto**. Documentos, Embrapa Soja, Londrina, n. 322, 36p, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859439/1/Doc322online1.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 848p.

VIGHI, I. L.; BENITEZ, L. C.; AMARAL M. N.; MORAES, G. P.; AULER, P. A.; RODRIGUES, G. S.; DEUNER, S.; MAIA, L. C.; BRAGA, E. J. B. Functional characterization of the antioxidant enzymes in rice plants exposed to salinity stress. **Biologia Plantarum**, Praga, v.61, p.540–550, 2017.

YOU, J.; CHAN, Z. ROS. Regulation During Abiotic Stress Responses in Crop Plants, **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.6, p.1-15, 2015.