

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUTIVIDADE DO TOMATEIRO DE INDÚSTRIA E
QUALIDADE DOS FRUTOS EM FUNÇÃO DE NITROGÊNIO E
POTÁSSIO**

**Leonardo Correia Costa
Engenheiro Agrônomo**

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL**

**PRODUTIVIDADE DO TOMATEIRO DE INDÚSTRIA E
QUALIDADE DOS FRUTOS EM FUNÇÃO DE NITROGÊNIO E
POTÁSSIO**

Leonardo Correia Costa

Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Coorientador: Prof. Dr. Juan Waldir Mendoza Cortez

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Ciência do Solo).

2018

Costa, Leonardo Correia
C837p Produtividade do tomateiro de indústria e qualidade dos frutos em função de nitrogênio e potássio / Leonardo Correia Costa. – – Jaboticabal, 2018
xvi, 65 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018
Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho
Coorientador: Juan Waldir Mendoza Cortez
Banca examinadora: Leonardo Ângelo de Aquino, Roberto Botelho Ferraz Branco, Durvalina Maria Mathias dos Santos, Matheus Saraiva Bianco
Bibliografia

1. *Solanum lycopersicum*. 2. fertilização. 3. produtividade de tomate. 4. qualidade de fruto. 5. análise de crescimento. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.4:635.64

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PRODUTIVIDADE DO TOMATEIRO DE INDÚSTRIA E QUALIDADE DOS FRUTOS EM FUNÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO

AUTOR: LEONARDO CORREIA COSTA

ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

COORDENADOR: JUAN WALDIR MENDOZA CORTEZ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Dr. ROBERTO BOTELHO FERRAZ BRANCO
Manejo e Tratos Culturais, Horticultura, Ecofisiologia e Nutrição de Plantas Cultivadas / APTA - Polo Regional Centro Leste - Ribeirão Preto

Prof. Dr. LEONARDO ANGELO DE AQUINO
Universidade Federal de Viçosa/Campus Rio Paranaíba / Rio Paranaíba - MG

Profa. Dra. DURVALINA MARIA MATHIAS DOS SANTOS
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. MATHEUS SARAIVA BIANCO
Universidade de Araraquara / Araraquara/SP

Jaboticabal, 15 de junho de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Leonardo Correia Costa, nascido em Junqueiro, Estado de Alagoas, em 08 de novembro de 1983, filho de Américo Correia e Elita Vicente Costa. Graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Alagoas – Câmpus de Arapiraca, em 2012. Durante a graduação atuou na monitoria da disciplina de Química Geral, foi bolsista de pesquisa e extensão durante 24 meses e colaborador em projetos de pesquisa durante 12 meses, no PIBIP-AÇÃO, com bolsa cedida pela UFAL. Em março de 2013, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, sob orientação do Professor Arthur Bernardes Cecílio Filho, submetendo à defesa em 2015 com dissertação intitulada “Sintomas de deficiências de macronutrientes em melancia”. Em março de 2015 ingressou no curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), sob orientação do Professor Arthur Bernardes Cecílio Filho, submetendo à defesa em 2018 com tese intitulada “N e K no crescimento e produtividade da cultura do tomateiro e na qualidade dos frutos para indústria”, sendo bolsista da CAPES por 36 meses. Participou do projeto de extensão universitária “Programa Hortaliças UNESP” como auxiliar do coordenador do projeto, na coorientação de alunos do curso de agronomia, no desenvolvimento de atividades relativas ao cultivo de hortaliças, durante 4 anos.

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim caminhada.

Caminhando e semeando no fim terás o que colher.”

Cora Corolina

Ofereço

A Deus.

Dedico

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida;

A toda minha família, meus pais, Américo Correia e Elita Vicente Costa (in memoriam), minha tia Bernadete Correia, minhas irmãs Quitéria, Maria das Graças e Leoneide, meus irmãos Cícero e Cosmo, e aos sobrinhos Davi, Juan e Brenda, crianças amadas que trazem muitas alegrias a minha vida;

A CAPES, pela bolsa concessão da bolsa de doutorado;

Ao meu orientador, professor Arthur Bernardes Cecílio Filho, pelos ensinamentos, conselhos e amizade;

Ao meu coorientador, professor Juan Waldir Mendoza Cortez, pela amizade, ensinamentos e conselhos;

Aos amigos Alexson Filgueiras, Rodolfo Ribas, Víctor Vergara, Rodrigo Nowaki, Natália Barreto, Camila Seno, Carolina Seno, Hilario Júnior, Eliza Barbosa, Miguel Aguilar, Sergio Rugeles, Paulo Henrique, Antonio Rocha, Joel Cabral, Greiscyleia Ribas, Leandra Barroso, Danilo Passos, Miquéias Gomes, Clebson Praxedes, Danilo Yamane, Renato Moraes, Higor Silva, Robson Medeiros, Marina Nogueira, Júlia Lopes e todas as pessoas que, em algum momento e de alguma forma, me ajudaram nesta realização;

Aos membros da banca de defesa Leonardo Ângelo de Aquino, Roberto Botelho Ferraz Branco, Durvalina Maria Mathias dos Santos, Matheus Saraiva Bianco.

Aos membros da banca de qualificação Renato de Mello Prado e Gilmar Pereira da Silva.

Ao professor, Jario Osvaldo Cazetta, por ceder o laboratório para realização de parte das análises da tese.

Ao Engenheiro Agrônomo, João Batista Júnior, por ceder a área para instalar o experimento.

Aos funcionários da “Horta”, Inauro, Reinaldo e Claudio, pela ajuda na condução do experimento.

Aos técnicos de laboratório, José Carlos, Sidnéia e Sônia, pela ajuda nas análises.

A Rosane e Wagner, pela amizade e alegrias em momentos de convivência;
As minhas desculpas mais sinceras a todos que colaboraram nesta etapa da
minha vida de alguma forma e que não mencionei.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	página
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xv
 CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	 1
1 Introdução.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Nitrogênio.....	2
2.2 Potássio.....	5
2.3 Interação nitrogênio x potássio.....	7
2.4 Análise de crescimento.....	8
2.4.1 Área foliar e produção de biomassa.....	9
2.4.2 Índices fisiológicos.....	11
3 REFERÊNCIAS.....	13
 CAPÍTULO 2 - Nitrogênio e potássio na produtividade e qualidade de tomate para processamento industrial.....	 18
RESUMO.....	18
ABSTRACT.....	19
1 INTRODUÇÃO.....	20
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	22
2.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	22
2.3 Instalação e condução dos experimentos.....	23
2.4 Características avaliadas.....	24
2.5 Análise estatística.....	27
3 RESULTADOS.....	27
3.1 Teores foliares de N e K na folha diagnóstica.....	27
3.2 Área foliar e massa seca de parte aérea aos 56 e 112 DAT.....	28

3.3 Produtividade e rendimento de polpa em função de doses de nitrogênio e potássio.....	30
3.4 Atributos físicos e químicos de qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e potássio.....	33
4 DISCUSSÃO.....	35
5 CONCLUSÕES.....	39
6 REFERÊNCIAS.....	39
 CAPÍTULO 3 – Crescimento do tomateiro para processamento industrial em função de doses de nitrogênio.....	43
RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
1 INTRODUÇÃO.....	45
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	46
2.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	46
2.3 Instalação e condução dos experimentos.....	47
2.4 Características avaliadas.....	48
2.4.1 Área foliar e massa seca da planta.....	48
2.4.2 Índices de crescimento de planta.....	49
2.5 Análise estatística.....	49
3 RESULTADOS.....	49
3.1 Área foliar e massa seca do tomateiro.....	49
3.2 Índices de crescimento do tomateiro.....	53
4 DISCUSSÃO.....	58
5 CONCLUSÕES.....	62
6 REFERÊNCIAS.....	63

Produtividade do tomateiro de indústria e qualidade dos frutos em função de nitrogênio e potássio

RESUMO - O nitrogênio (N) e potássio (K) são os nutrientes mais requeridos pelo tomate para processamento, sendo o N mais associado com o crescimento e produtividade das culturas, e o K com o aumento da qualidade de frutos, mas a interação das doses destes nutrientes com o ambiente em tomate para processamento industrial ainda é incipiente. Objetivou-se avaliar doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) e de K (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ K₂O) sobre a produtividade, rendimento de polpa e qualidade dos frutos de tomate 'Heinz 9553' para processamento industrial e realizar a análise de crescimento aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 96, 112 e 126 dias após o transplântio (DAT) em função do N aplicado. O experimento foi realizado de abril a agosto de 2015, no município de Barretos, Estado de São Paulo, Brasil. A fonte para o fornecimento de N foi a ureia e cloreto de potássio para K. A fertilização com 180 kg ha⁻¹ N e de 400 kg ha⁻¹ K₂O proporcionou maior produtividade de frutos coloridos, vermelhos e total, e rendimento industrial de polpa de tomate. As doses de N e de K não afetaram os teores de betacaroteno e de licopeno. O teor de sólidos solúveis no tomate aumentou tanto com a fertilização nitrogenada quanto com a fertilização potássica. As doses altas de N e K diminuíram a firmeza dos frutos. O aumento de vitamina C do fruto respondeu em maior intensidade à adubação nitrogenada que a potássica. Com relação ao crescimento do tomateiro, a fertilização com 180 kg ha⁻¹ N proporcionou maior área foliar, massa seca de folha, massa seca de parte área (folhas + hastes), massa seca de fruto, massa seca total, índice de área foliar, razão de área foliar e razão de massa de folha ao fim do ciclo. As menores taxa de crescimento relativo e área foliar específica foram verificadas com 180 kg ha⁻¹. Para todas doses de N, a taxa de crescimento absoluto é pequena até 56 DAT e, posteriormente, as doses de N promoveram incremento diferenciado sobre o índice.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, fertilização, produtividade de tomate, qualidade de fruto, análise de crescimento

Industry tomato productivity and fruit quality in nitrogen and potassium function

ABSTRACT - The nitrogen (N) and potassium (K) are the nutrients most required by the tomato for processing, N being more associated with crop growth and productivity, and K with increasing fruit quality, but the interaction of the doses of these nutrients with the environment in tomato for industrial processing is still incipient. The objective of this study was to evaluate N rates (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹) and K (0, 100, 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ K₂O) on yield, pulp yield and fruit quality of tomatoes 'Heinz 9553' for industrial processing and to perform the growth analysis at 14, 28, 42, 56, 70, 84, 96, 112 and 126 days after transplanting (DAT) as a function of N applied. The experiment was carried out from April to August 2015, in the city of Barretos, State of São Paulo, Brazil. The source for the supply of N was urea and potassium chloride for K. Fertilization with 180 kg ha⁻¹ N and 400 kg ha⁻¹ K₂O provided higher productivity of red, whole and colored fruits and industrial yield of pulp of tomato. The doses of N and K did not affect the levels of beta-carotene and lycopene. The content of soluble solids in tomatoes increased with both nitrogen fertilization and potassium fertilization. High doses of N and K decreased fruit firmness. The increase of vitamin C of the fruit responded more intensely to nitrogen fertilization than potassium. In relation to tomato growth, fertilization with 180 kg ha⁻¹ N provided a larger leaf area, leaf dry mass, shoot dry mass (leaves + stems), dry fruit mass, total dry mass, leaf area index, leaf area ratio and leaf mass ratio at the end of the cycle. The lowest relative growth rate and specific leaf area were verified with 180 kg ha⁻¹. For all doses of N, the absolute growth rate is small up to 56 DAT and, subsequently, the N doses promoted a differential increase over the index.

KEYWORDS: *Solanum lycopersicum*, fertilization, tomato yield, fruit quality, growth analysis

LISTA DE TABELAS

	página
CAPÍTULO 3 - Crescimento do tomateiro para processamento industrial em função de doses de nitrogênio.....	43
Tabela 1. Valores do crescimento do tomateiro 'Heinz 9553' correspondentes às doses 0 e 180 kg ha ⁻¹ de N, em períodos de 28 dias, a partir de 14 dias após o transplantio até colheita.....	53
Tabela 2. Taxa assimilação aparente (TAA) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplantio).....	54
Tabela 3. Valores do crescimento do tomateiro 'Heinz 9553' correspondentes à dose de 180 kg ha ⁻¹ de N, aos 112 dias após o transplante.....	57

LISTA DE FIGURAS

	página
CAPÍTULO 2 - Nitrogênio e potássio na produtividade e qualidade de tomate para processamento industrial.....	18
Figura 1. Classificação realizada visualmente do tomate ‘Heinz 9553’ em fruto verde (a), colorido (b) e vermelho (c).....	24
Figura 2. Área foliar aos 56 dias após o transplantio (AF56) de tomate ‘Heinz 9553’, em função da interação nitrogênio e potássio.....	28
Figura 3. Área foliar aos 112 dias após o transplantio (AF112) de tomate ‘Heinz 9553’, em função da interação nitrogênio e potássio.....	29
Figura 4. Massa seca de parte aérea de tomate ‘Heinz 9553’, aos 112 dias após o transplantio (MSPA112), em função da interação nitrogênio e potássio.....	29
Figura 5. Produtividade de frutos verdes de tomate ‘Heinz 9553’ em função doses de nitrogênio (a) e de potássio (b).....	30
Figura 6. Produtividade de frutos coloridos (PFC) de tomate ‘Heinz 9553’ em função da interação nitrogênio e potássio.....	31
Figura 7. Produtividade de frutos vermelhos (PFVm) de tomate ‘Heinz 9553’ em função da interação nitrogênio e potássio.....	31
Figura 8. Produtividade total de frutos (PTF) tomate ‘Heinz 9553’ em função da interação nitrogênio e potássio.....	32
Figura 9. Rendimento industrial de polpa (RIP) de tomate ‘Heinz 9553’ em função da interação nitrogênio e potássio.....	32
Figura 10. Sólidos solúveis de tomate ‘Heinz 9553’ em função das doses de nitrogênio (a) e de potássio (b).....	33
Figura 11. Firmeza (Firm) dos frutos de tomate ‘Heinz 9553’ em função da interação nitrogênio e potássio.....	34
Figura 12. Teores de vitamina C (VC) em frutos de tomate ‘Heinz 9553’ em função da interação nitrogênio e potássio.....	34

CAPÍTULO 3 - Crescimento do tomateiro para processamento industrial em função de doses de nitrogênio.....	43
Figura 1. Área foliar (AF) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).....	50
Figura 2. Massa seca de folha (MSF) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).....	51
Figura 3. Massa seca de parte aérea (MSPA) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).....	51
Figura 4. Massa seca de fruto (MSFr) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).....	52
Figura 5. Massa seca total (MST) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).....	52
Figura 6. Taxa de crescimento relativo (TCR) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).....	55
Figura 7. Razão de área foliar (RAF) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).....	55
Figura 8. Área foliar específica (AFE) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).....	56
Figura 9. Razão de peso de folha (RPF) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT- dias após o transplântio).....	56
Figura 10. Índice de área foliar (IAF) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).....	57

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1 INTRODUÇÃO

Potássio (K) e nitrogênio (N), nesta ordem, são os dois nutrientes mais acumulados pelo tomateiro de indústria (Lucena et al., 2013) e alterações em suas quantidades têm implicações positivas ou negativas sobre o crescimento e desenvolvimento da planta, produtividade e qualidade os frutos de tomate.

O tomateiro é responsivo à fertilização nitrogenada, o que motiva produtores a aumentarem a dose de N visando máxima produtividade da cultura (Elia e Conversa, 2012). Porém, o aumento não é contínuo, ou seja, ocorre com incrementos cada vez menores até estabilização (consumo de luxo) e subsequente diminuição (desequilíbrio nutricional).

Com doses excessivas de N, a energia necessária para indução da floração é utilizada no crescimento vegetativo, atrasando o florescimento e a frutificação (Rashid et al., 2016). Além disso, vem sendo verificado que altas doses de N aumentam a produtividade, mas também reduz a qualidade dos frutos de tomate (Bérnard et al., 2009). Assim, a fertilização nitrogenada bem manejada é necessária para manter o equilíbrio entre o crescimento vegetativo e o reprodutivo da planta, e obter alta produtividade de frutos (Castellanos et al., 2011).

O K é fundamental em muitos processos fisiológicos, como fotossíntese, ativação enzimática, síntese, transferência, conversão e armazenamento de carboidratos, osmorregulação, turgor celular e homeostase dos íons em células vegetais (Hawkesford et al., 2012). Também, tem função reguladora na absorção de N evitando excesso do crescimento vegetativo (Yang et al., 2015), além de proteger as plantas contra estresse abiótico e biótico, e melhorar a qualidade dos frutos (Zhang et al., 2010).

O K tem função essencial na assimilação do N ativando enzimas que atuam da redução do nitrato até a incorporação do N no esqueleto de carbono (Coskun et al., 2017), que reduz a concentrações de N-NO_3^- e N-NH_4^+ nos tecidos vegetais (Hagin et al., 1990).

A combinação adequada na fertilização de N e K podem assegurar o aumento de produtividade e a qualidade das culturas (Ortas, 2013), pela manutenção do equilíbrio entre o crescimento vegetativo e reprodutivo das culturas. Além disso, a dose de N e K combinadas pode reduzir a quantidade de fertilizante nitrogenado e potássico utilizado na propriedade, aumentando a rentabilidade econômicas e reduzindo o risco de poluição do ambiente.

Sabendo-se que a procura por alimento de boa qualidade é crescente ao longo dos anos, agricultores e agroindústrias processadoras de tomate vêm se preocupando em aumentar a produtividade e a qualidade dos frutos (Kuscu et al., 2014), com menor custo operacional e impacto ambiental, para novas cultivares e manejo cultural, o que faz necessário reavaliar o manejo da fertilização nitrogenada e potássica para o tomateiro constantemente.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar doses de N e de K sobre a produtividade, rendimento de polpa e qualidade dos frutos de tomate para processamento industrial, e realizar a análise de crescimento do tomateiro 'Heinz 9553' para caracterizar o efeito de doses de N no crescimento e na produção.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Nitrogênio

O nitrogênio (N) compõe de 1% a 5% da massa seca das plantas, sendo constituinte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitohormônios e de metabólitos secundário (Hawkesford et al., 2012).

O N é o segundo nutriente mais requerido pelo tomateiro, assim o fornecimento adequado deste nutriente às culturas é fundamental para maximizar o crescimento e a produtividade (Lucena et al., 2013).

Para a cultura expressar o seu máximo potencial produtivo é fundamental que na fase inicial do cultivo, o nitrogênio fornecido seja suficiente para formação do dossel com capacidade de atender a alta demanda das plantas na fase de frutificação (Zhang et al., 2010; San-Martín-Hernández et al., 2016). Hartz e Bottoms (2009) relataram que mais de 60% do acúmulo de biomassa e da absorção do N no

tomateiro para processamento ocorreu em 6 semanas período entre o início de frutificação e dos primeiros frutos vermelhos.

Para melhor aproveitamento do N ao longo da cultura após a aplicação em solo do fertilizante nitrogenado deve-se realizar incorporação do fertilizante, esta prática reduz as perdas por volatilização (Tasca et al., 2011).

Em tomate para processamento no Estado de São Paulo recomenda-se aplicar 30 kg ha⁻¹ N no plantio, de 60 a 120 kg ha⁻¹ N em cobertura parceladas em duas aplicações, aos 25-30 e dos 50-60 dias após o transplântio (Trani e Raij, 1997).

Em tomate para processamento foi observado correlação entre o teor de N na folha e na planta inteira indicando que, a partir do teor de N na folha padrão de avaliação do estado nutricional pode-se fazer inferência sobre o teor de N na planta inteira (Hartz e Bottoms, 2009).

O teor de N na folha considerado adequado para tomate por Trani e Raij (1997) varia 40 a 60 g kg⁻¹ amostrando-se em 25 plantas, a quarta folha com pecíolo na haste principal do ápice a base, por ocasião do primeiro fruto maduro. Para Fontes (2000), o teor adequado de N na folha varia de 40 a 60 g kg⁻¹, com a amostragem realizada no início do florescimento em 30 plantas, coletando-se a quarta folha com pecíolo considerando para efeito de contagem apenas as folhas completamente expandidas, na haste principal do ápice a base.

Para atingir alta produtividade de frutos comercializáveis, reduzir a produtividade frutos de verdes e minimizar os efeitos adversos do crescimento vegetativo excessivo a fertilização nitrogenada deve ser manejada adequadamente (Warner et al., 2004). Para crescimento e desenvolvimento adequado a fertilização tem que ser realizada de forma e em quantidade suficiente para atender a demanda da cultura ao longo ciclo de cultivo (San-Martín-Hernández et al., 2016).

A fertilização nitrogenada afeta a floração e a frutificação, quando em excesso pode atrasar a floração, prolongar a maturação dos frutos e diminuir o tamanho dos frutos (Kumar et al., 2013). Quando a fertilização nitrogenada é realizada em excesso a proporção de frutos verde no tomateiro aumenta (Elia e conversa, 2012). No tomate 'Heinz 9553' cultivado no Canadá, Warner et al. (2004) verificaram que com a fertilização entre de 0 e 250 kg ha⁻¹ N a produtividade de frutos verdes variaram de 10 a 40 t ha⁻¹. Em tomate para processamento, na Itália, Elia e

Conversa (2012) relataram que a proporção de frutos verdes produzidos foi de 9,3%, 15,6%, 25,4% e 23,5% com a fertilização de 0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ N, respectivamente.

Na fertilização de 0 a 400 kg ha⁻¹ N no tomate 'Heinz 9478', no Canadá, Zhang et al. (2010) verificaram que a máxima produtividade total de frutos foi de 137 t ha⁻¹ com 322 kg ha⁻¹ N. Em tomate para processamento Elia e Conversa (2012) com dose de N entre de 0 e 300 kg ha⁻¹ a máxima produtividade total de frutos foi de 155 t ha⁻¹ com 200 kg ha⁻¹ N, 10 t ha⁻¹ a mais que a produtividade obtida na maior dose de N (300 kg ha⁻¹).

Com a fertilização de 140 kg ha⁻¹ N no tomate para processamento, no Canadá, Belfry et al. (2017) verificaram que a produtividade de frutos vermelhos e total foram de 105 e 120 t ha⁻¹, respectivamente.

Na fertilização de 140 kg ha⁻¹ N, 560 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 340 kg ha⁻¹ K₂O no tomate 'Heinz 9553', no Brasil, Carvalho et al. (2003) verificaram que a produtividade total de frutos e rendimento de polpa foram de 124 e 15,04 t ha⁻¹, respectivamente.

Na literatura, verifica-se que as respostas do tomateiro à fertilização nitrogenada para maximizar a produtividade são variadas e tais diferenças podem ser explicadas pela cultivar utilizada, clima e manejo cultural (Warner et al., 2004; Hartz e Bottoms, 2009). Além disso, existe grande variabilidade de cultivares com diferente potencial produtivo, padrão de qualidade e de exigência nutricional (Almanza-Merchán et al., 2016).

Com a fertilização acima de 100 kg ha⁻¹ N no tomate para processamento Parisi et al. (2006) verificaram que a firmeza do fruto diminuiu. Os frutos com menor firmeza ficam mais susceptível aos danos mecânicos (Kirimí et al., 2011), e ao processo de deterioração dos frutos (Soares e Rangel, 2012).

Os sólidos solúveis são expressos em °Brix e estão relacionados com a quantidade de açúcares presentes nos frutos, principalmente glicose e frutose, interferindo no sabor, doçura e acidez (Vinha et al., 2014). O tomate geralmente têm de 4 a 6 °Brix e na agroindústria antes do produto ser embalado a granel geralmente a polpa é concentrado de 27 a 31 °Brix podendo ficar armazenada por longo prazo (Garcia e Barrett, 2006).

O N é constituinte das proteínas e aminoácidos, que afetam diretamente o teor de sólidos solúveis (Kirimí et al., 2011). Porém, Warner et al. (2004), em tomate para processamento, não verificaram efeito da fertilização nitrogenada (0 a 250 kg ha⁻¹ N) no teor de sólidos solúveis.

O pH é uma característica de qualidade que influencia na duração do processamento térmico da polpa do tomate para obtenção de produtos seguros (Asri et al., 2015). O pH dos frutos de tomates maduros pode ser maior que 4,6; todavia, pH inferior a 4,6 é desejável para controlar a proliferação microbiana no processamento da polpa de tomate na agroindústria (Garcia e Barrett, 2006).

Com a fertilização de 0 a 250 kg ha⁻¹ N no tomate para processamento não houve efeito na acidez titulável, mas houve efeito no pH, e quanto maior a dose de N maior foi o pH do fruto (Parisi et al., 2006). Na fertilização de 140 kg ha⁻¹ N, 560 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 340 kg ha⁻¹ K₂O, no tomate 'Heinz 9553', Carvalho et al. (2003) verificaram que o sólidos solúveis, pH e acidez foi 3,92, 4,44 e 305, respectivamente.

2.2 Potássio

O potássio (K) participa dos processos fotossintético, síntese de proteínas, ativação enzimática, acúmulo de carboidratos, transporte de açúcares, manutenção do potencial osmótico e estabilidade das células (Hawkesford et al., 2012).

Para as plantas os efeitos benéficos do K estão associados com uma combinação de melhorias no processo de assimilação de CO₂ pelas folhas, maior translocação de fotoassimilados das folhas para os frutos, maior atividade enzimática e disponibilidade de substrato para biossíntese de vitamina C (Fanasca et al., 2006).

O K é um nutriente chave para aumentar a produtividade das culturas hortícolas e seu conteúdo em vegetais tem uma relação positiva significativa com atributos de qualidade (Bidari e Hebsur, 2011). O K tem alta mobilidade no floema pode ser reutilizado na formação de órgãos novos pela redistribuição do K via floema (Hawkesford et al., 2012).

Em tomate para processamento no Estado de São Paulo, recomenda-se aplicar 60 a 180 kg ha⁻¹ K₂O no plantio, de 60 a 120 kg ha⁻¹ K₂O em cobertura parceladas em duas aplicações, aos 25-30 e dos 50-60 dias após o transplante (Trani e Raij, 1997).

O teor de K na folha considerado adequado para tomate varia 30 a 50 g kg⁻¹, amostrando-se a quarta folha com pecíolo de 25 plantas, por ocasião do primeiro fruto maduro (Trani e Raij, 1997). Para Fontes (2000), o teor adequado de K na folha varia de 30 a 50 g kg⁻¹, com a amostragem realizada no início do florescimento em 30 plantas, coletando-se a quarta folha com pecíolo, considerando apenas as folhas completamente expandidas.

Em tomate para processamento, Lui et al. (2011) verificaram que a produtividade total de frutos e de frutos vermelhos foi 93 e 71 t ha⁻¹, respectivamente, com a fertilização de 200 kg ha⁻¹ K₂O. Acima dessa dose, as produtividades foram similares entre si. Com a fertilização de 400 kg ha⁻¹ K₂O, Hartz et al. (2005) verificaram que a produtividade total de frutos e de frutos vermelhos em tomate para processamento foram de 134 e 123 t ha⁻¹, respectivamente.

Com fertilização de 200, 400 e 600 kg ha⁻¹ K₂O, o teor de sólidos solúveis aumentou 3%, 6% e 8%, respectivamente, comparado ao teor dos frutos de tomate que não receberam fertilização potássica (Lui et al., 2011). O teor de sólido solúvel é de grande importância econômico para o tomate para processamento pois, mesmo um pequeno aumento neste atributo de qualidade, pode aumentar significativamente o rendimento industrial e diminuir o custo da desidratação da polpa (Asri et al., 2015).

Em estudo realizado por Lui et al. (2011) em tomate para processamento não foi verificado efeito no teor de licopeno com a fertilização variando de 0 a 600 kg ha⁻¹ K₂O. Em frutos de tomate “de mesa” Javaria et al. (2012) verificaram que com a fertilização de 375 kg ha⁻¹ K₂O o teor de acidez titulável, vitamina C e licopeno aumentaram 134%, 67%, 63%, respectivamente, quando comparado com os frutos das plantas que não foram fertilizadas com K. O aumento do licopeno em frutos com a fertilização potássica, pode estar associada a maior atividade de enzimas envolvido no processo biossíntese de carotenoides (Fanasca et al., 2006).

2.3 Interação nitrogênio e potássio

O N é absorvido pela maioria das culturas na forma de nitrato e amônio (Hawkesford et al., 2012). O K é absorvido pelas plantas como cátion monovalente (Coskun et al., 2017).

A assimilação de N pelas plantas não ocorre em alto estado de oxidação, assim quando o nitrato é absorvido, na sequência é reduzido à amônio e incorporado nos esqueletos de carbono, principalmente através da ação da glutamina sintetase (Hawkesford et al., 2012). O amônio incorporado na planta pode ter sido absorvido diretamente na forma de amônio ou resultado do processo de redução do nitrato (Coskun et al., 2017).

No processo de assimilação do N na planta a nitrato redutase é uma enzima fundamental (Ali et al., 1991), por ser a primeira enzima na redução do nitrato esta etapa do processo é considerada limitante e reguladora na assimilação de N (Park et al., 2011).

A assimilação do N é um processo biológico essencial que tem efeito na biomassa, produção e produtividade da planta (Zhang et al., 2010). O K ativa enzimas vegetais que atuam na assimilação de amônio, evitando o acúmulo de concentrações tóxicas de amônio nos tecidos vegetais (Hagin et al., 1990). Assim, a fertilização adequada de K aumenta a assimilação e a utilização de N pelas plantas (Ali et al., 1991).

O K atua na síntese, transferência, conversão e armazenamento de carboidratos e também tem a função de regular a absorção de N evitando crescimento excessivo das plantas (Yang et al., 2015). A aplicação de potássio aumenta a atividade da nitrato redutase, contribuindo na eficiente da fotossíntese e formação de moléculas orgânicas primárias contendo N necessário para a síntese de aminoácidos e de proteínas (Coskun et al., 2017).

A dose de N que maximiza a produtividade das culturas é influenciada pelo parcelamento da fertilização, fonte de N e pela dose de K utilizada (Zhang et al., 2010). O manejo adequado de N e K atua no equilíbrio entre os fitohormônios de crescimento, melhora os processos fotossintéticos promovendo maior crescimento e produtividade (Kumar et al., 2017).

Em estudos realizados em abóbora (Swiader et al., 1994), tomate “de mesa” (Kumar et al., 2013), pimentão (Ortas, 2013), pimenta (Bhuvaneswari et al., 2013), morango (Medeiros et al. 2015), mamoeiro (Kumar et al., 2017), berinjela (Souza et al., 2017) foram verificados que a interação entre N e K maximiza a produtividade.

Doses excessivas N e K aumentaram o crescimento vegetativo atrasaram a floração e frutificação. Isso resultou em maior quantidade de frutos imaturos na colheita de tomate “de mesa” (Kumar et al., 2013).

A fertilização combinada de N e de K aumentou produção de biomassa, altura da planta, número de haste, área foliar, produtividade na cultura da pimenta (Bhuvaneswari et al., 2013).

2.4 Análise de crescimento

O crescimento da planta é um processo complexo que inclui vários processos como divisão e alongamento celular, fotossíntese, síntese de inúmeros compostos, respiração, translocação, absorção e transpiração (Hawkesford et al., 2012). Com a análise de crescimento é possível avaliar o crescimento da planta ao longo do ciclo e a contribuição de cada órgão do vegetal no crescimento total (Almanza-Merchán et al., 2016).

Todo crescimento é resultado da produção de material suficiente para atender às necessidades de material preexistentes que terá finalidade de fornecer assimilados para manutenção das estruturas existentes e emissão de novos órgãos (Benincasa, 2003).

O crescimento vegetativo deve ser o suficiente apenas para promover a manutenção das partes vegetativas, a fim de manter um potencial de crescimento adequado ao longo ciclo, pois a maior proporção de fotoassimilados devem ser alocados para produção de frutos (Peil e Galvez, 2005). O crescimento da planta na fase inicial é crucial para as plantas expressar todo o seu potencial produtivo, nesta fase plantas que apresentam maior crescimento tende a ser mais produtiva (Zhang et al., 2010; Ardila et al., 2011).

As curvas de crescimento servem para identificar a evolução do crescimento ao longo do ciclo da cultura sob condições climáticas do local de estudo e também

para desenvolver modelos que estimem a produtividade das culturas (Benincasa, 2003).

2.4.1 Área foliar e produção de biomassa

No início do crescimento das plantas, a área foliar é pequena, a taxa fotossintética é baixa, porém os fotoassimilados produzidos nesta fase são continuamente utilizados na manutenção de órgãos vegetativos já existentes e para emissão de novas hastes e folhas que, favorece o aumento de área foliar ao longo ciclo (Azofeita e Moreira, 2004).

A área foliar produzida pela planta até a fase de floração é considerado um importante fator para a cultura expressar o seu potencial produtivo (Özalkan et al., 2010). A principal função das folhas é absorver dióxido de carbono para a fotossíntese e converter energia da luminosa em energia química (Xiukang e Yingying, 2016). A folha é essencialmente um órgão fonte de fotoassimilados oriundo do balanço de carbono (Peil e Galvez, 2005).

O aumento da área foliar nas plantas implica em ter uma maior superfície fotossintética ativa que é muito importante para os processos fisiológicos (Luna et al., 2014). Os processos fotossintéticos funcionado de forma adequada a produção de carboidratos será favorecida que combinados com água e minerais assimilados intervêm diretamente na síntese de aminoácidos, proteínas e outros compostos orgânicos (Taiz et al., 2017), resultando em plantas com maior produção de massa seca (Ardila et al., 2011).

A menor área foliar pode reduzir a taxa fotossintética da cultura devido a diminuição da interceptação de luminosa e também promove redução na transpiração foliar e na condutância estomática (Xu et al., 2009).

A emissão de folhas durante o crescimento das plantas foi influenciada pela adubação nitrogenada que aumentou o número de folhas por planta (Miceli e Miceli, 2014). Wira et al. (2013) verificaram que com aplicação de doses de N a massa seca de folha e de haste do tomateiro aumentou gradativamente até 84 dias após o transplante e a partir dos 84 até 112 DAT houve redução da taxa de acúmulo destes órgãos.

O máximo acúmulo de massa seca vegetativa coincidiu com o início da frutificação (Elia e Conversa, 2012). Com a fertilização das maiores doses de nitrogênio o incremento de massa seca de folha foi superior ao aumento verificado na fertilização das menores doses nitrogenada (Wira et al., 2013).

As plantas que apresentam maior produção de massa seca por unidade de área de foliar têm tendência de prolongar a vida útil das folhas para compensar a superfície foliar disponível e a atividade do aparelho fotossintético (Xu et al., 2009). A haste da planta tem uma função muito importante no transporte de água, solutos e nutrientes e no armazenamento de nutrientes (Xiukang e Yingying, 2016).

O tomate nos estágios iniciais de crescimento acumula pouca massa seca, mas nas fases reprodutiva é observado maior acúmulo de massa seca e isso se deve ao aumento da demanda metabólica que ocorre durante o enchimento dos frutos (Almanza-Merchán et al., 2016).

Na fase reprodutiva os frutos são os principais órgãos dreno da planta, podendo ocorrer competição pelos fotoassimilados disponíveis entre frutos, como também dos frutos com os órgãos vegetativos (Peil e Galvez, 2005) que pode causar uma diminuição do tamanho dos frutos e da duração da área foliar (Abukhovich et al., 2009).

A maior quantidade de fotoassimilados nos frutos são provenientes das folhas, o aumento de massa dos frutos está diretamente relacionado como capacidade da fonte (folhas) prover assimilados para tais drenos (frutos), (Casierra e Cardozo, 2009). De tal forma que, a força dreno de um órgão é resultado da demanda potencial ou da capacidade do órgão em acumular fotoassimilados (Almanza-Merchán et al., 2016).

A relação de fonte/dreno muito baixa resultará em crescimento vegetativo inferior ao ótimo, frutos pequenos e abortamento de frutos jovens, no entanto, quando a relação fonte/dreno for muito alta o cultivo terá uma baixa frutificação que implicará na diminuição de produtividade, devido ao número reduzido de frutos fixado por planta (Peil e Galvez, 2005).

Em meloeiro dose de N acima de 90 kg ha⁻¹ promoveu o crescimento vegetativo excessivo, com menor crescimento dos frutos, o que sugere que doses altas de N são alocadas principalmente para o crescimento vegetativo em vez de

produção de frutos (Castellanos et al., 2011), provavelmente, devido às folhas atuarem como dreno, na fase que as folhas devem atuar como fonte (Kimiri et al., 2011).

2.4.2 Índices fisiológicos

A taxa de crescimento relativo (TCR) da planta é um índice de crescimento determinado em função do incremento de massa por unidade de massa no tempo (Llanos et al., 2015). Esse índice expressa o aumento da taxa de massa da planta por unidade da massa vegetal existente (Barraza et al., 2004).

Na fase inicial de crescimento a TCR tende a ser maior porque o material existente para prover novos órgãos vegetal é menor, mas, à medida que a planta cresce, a quantidade de material acumulado aumenta e a proporção de material novo gerado diminui (Ardila et al., 2011). Assim, ao longo do tempo é esperado uma diminuição constante da TCR (Almanza-Merchán et al., 2016).

A Razão de área foliar (RAF) é um dos principais parâmetros morfológicos utilizados avaliar a relação área foliar e massa seca total da planta (Azofeita e Moreira, 2004). A RAF é considerada como a área foliar útil para fotossíntese, processo fundamental o crescimento e desenvolvimento vegetal (Huez-López et al., 2011). Os altos valores da RAF observados no início do ciclo podem ser associados à estratégia de sobrevivência das plantas, para melhorar a eficiência de capturar e utilização da energia solar (Azofeita e Moreira, 2004).

Ao longo do crescimento da planta a fração de material retido na folha é reduzido, o que contribui para a diminuição da RAF devido à maior exportação dos fotoassimilados da folha para outros órgãos da planta (Benincasa, 2003). A tendência da RAF decrescer ao longo do ciclo pode ser explicada pelo o aumento de massa seca total da planta durante o ciclo da cultura, principalmente pelo aumento da massa seca de frutos (Azofeita e Moreira, 2004). Quanto maior for a eficiência de exportação dos fotoassimilados da folha para os outros da planta maior será o potencial produtivo (Barraza et al., 2004).

A área foliar específica (AFE) relaciona a área foliar com massa seca da própria folha e, portanto, é considerado o componente morfológico (área foliar) e

anatômico (massa seca da folha) da RAF (Benincasa, 2003). A AFE um parâmetro importante da taxa de crescimento que permite inferir que quanto maior a AFE, maior a área de captura luz por unidade de massa (Xu et al., 2009). A AFE é considerada uma característica importante para inferir sobre a capacidade de interceptação de luz pela planta e a longevidade das folhas (Liu et al., 2016).

A razão de peso de folha (RPF) é razão entre a massa seca da folha e a massa seca total, este índice expressa a fração de massa seca não exportada das folhas para o resto da planta (benincasa, 2003). Ao longo do ciclo a RPF tende a diminuir, pois à medida que a planta cresce menor será a fração do material retido na folha devido à maior exportação do material sintetizado na folha para outros órgãos da planta (Pedó et al., 2014).

O índice de área foliar (IAF) é uma variável obtida pela relação área foliar total e a área da superfície do solo ocupada pela planta (Benincasa, 2003). O aumento do IAF tem apresentado uma correlação positiva com a produtividade do tomateiro (Hossain et al., 2017). O IAF aumenta à medida que a área foliar cresce, mas a partir do momento que o aumento de área foliar promove o autossombreamento a eficiência fotossintética será reduzida, devido ao aumento do número de folhas que serão mantidas sob menor luminosidade (Barraza et al., 2004). O IAF ótimo é aquele que permite o máximo de fotossíntese que resultaria em taxa de crescimento relativo elevado que geralmente, ocorre nas fases iniciais do crescimento quando autossombreamento é mínimo (Ardila et al., 2011).

A taxa de assimilação aparente (TAA) demonstra a eficiência das culturas em termos fotossintéticos, uma vez que a relação de massa por unidade de área por tempo, resulta no montante de fotoassimilados sintetizado pela planta no processo fotossintético (Llanos et al., 2015). A diminuição da TAA está relacionada com o sombreamento das folhas superiores sobre a inferiores, promovendo a redução de capacidade fotossintética e síntese de fotoassimilados das folhas da posição inferior (Azofeita e Moreira, 2004). A TAA é diminuída na fase reprodutiva (San-Martín-Hernández et al., 2016).

3 REFERÊNCIAS

Abukhovich A, Pietkiewicz S, Karwowska R, Kobryń J, Kalaji HM (2009) Canopy architecture and yielding of different tomato morphotypes under glasshouse conditions. **Vegetable Crops Research Bulletin** 70:49-58.

Almanza-Merchán PJ, Arévalo YA, Cely GER, Pinzón EH, Serrano PAC (2016) Fruit growth characterization of the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid 'Ichiban' grown under cover. **Agronomía Colombiana** 34:155-162.

Ali AA, Ikeda M, Yamada Y (1991). Effects of the supply of K, Ca, and Mg on the absorption and assimilation of ammonium-nitrogen and nitrate-nitrogen in tomato plants. **Soil Science and Plant Nutrition** 37:283-289.

Ardila GR, Fischer G, Balaguera-López HE (2011) Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) em tiempo fisiológico bajo invernadero. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas** 5:44-56.

Asri FO, Demirtas EI, Ari N (2015) Changes in fruit yield, quality and nutrient concentrations in response to soil humic acid applications in processing tomato. **Bulgarian Journal of Agricultural Science** 21: 585-591.

Azofeifa A, Moreira MA (2004) Analisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot), en Alajuela, Costa Rica. **Agronomía Costarricense** 28:57-67.

Barraza FV, Flscher G, Cardona CE (2004) Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. **Agronomía Colombiana** 22:81-90.

Bénard C, Gautier H, Bourgaud F, Grasselly D, Navez B, Caris-Veyrat C, Weiss M, Génard M (2009) Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 57:4112-4123.

Benicasa, MMP (2003) **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 41.p.

Bhuvaneswari G, Sivaranjani R, Reeth S, Ramakrishnan K (2013) Application of nitrogen and potassium efficiency on the growth and yield of chilli *Capsicum annuum* L. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 2:329-337.

Bidari BI, Hebsur NS (2011) Potassium in relation to yield and quality of selected vegetable crops. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences** 24:55-59.

Carvalho JOM, Luz JMQ, Juliatti FC, Melo LC, Teodoro REF, Lima LML (2003) Desempenho de famílias e híbridos comerciais de tomateiro para processamento industrial com irrigação por gotejamento. **Horticultura Brasileira** 21:525-533.

Casierra-Posada F, Cardozo MC (2009) Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill, cv. "Quindío") cultivados a campo abierto. **Revista Facultad Nacional de Agronomía** 62:4815-4822.

Castellanos MT, Cabello MJ, Cartagena MC, Tarquis, AM, Arce A, Ribas F (2011) Growth dynamics and yield of melon as influenced by nitrogen fertilizer. **Scientia Agricola** 68:191-199.

Coskun D, Brito DT, Kronzucker HJ (2017) The nitrogen–potassium intersection: membranes, metabolism, and mechanism. **Plant, Cell and Environment** 40:2029-2041.

Elia A, Conversa G (2012) Agronomic and physiological responses of a tomato crop to nitrogen input. **European Journal of Agronomy** 40:64-74.

Fanasca S, Colla G, Maiani G, Venneria E, Rouphael Y, Assini E, Saccardo F (2006) Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 54:4319-4325.

Fontes RR (2000) Solo e nutrição de planta. In: Silva JBC, Giordano LB. **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 22-35.

Garcia E, Barrett D (2006) Evaluation of processing tomatoes from two consecutive growing seasons: quality attributes, peelability and yield. **Journal of Food Processing and Preservation** 30:20-36.

Hagin J, Olsen SR, Shaviv A (1990) Review of interaction of ammonium nitrate and potassium nutrition of crops. **Journal of Plant Nutrition** 13:1211-1226.

Hartz TK, Bottoms TG (2009) Nitrogen requirements of drip-irrigated processing tomatoes. **Hortscience** 44:1988-1993.

Hartz, TK, Johnstone PR, Francis DM, Miyao EM (2005) Processing tomato yield and fruit quality improved with potassium fertigation. **HortScience** 40:1862-1867.

Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Moller SI, White P (2012) Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. New York, p. 135-189.

Hossain SAAM, Wang L, Chen T, Li Z (2017) Leaf area index assessment for tomato and cucumber growing period under different water treatments. **Plant Soil and Environment** 63:461-467.

Huez-López MA, Ulery A L, Samani Z, Picchioni G, Flynn RP (2011) Response of chile pepper (*Capsicum annuum* L.) to salt stress and organic and inorganic nitrogen sources: I. Growth and yield. **Tropical and Subtropical Agroecosystems** 14:137-147.

Javaria S, Khan MQ, Bakhsh I (2012) Effect of potassium on chemical and sensory attributes of tomato fruit. **Journal of Animal and Plant Sciences** 22:1081-1085.

Kirimi JK, Itulya FM, Mwaja VN (2011) Effects of nitrogen and spacing on fruit yield of tomato. **African Journal of Horticultural Science** 5:50-60.

Kumar M, Meena ML, Kumar S, Maji S, Kumar D (2013) Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the growth, yield and quality of tomato var. Azad T-6. **The Asian Journal of Horticulture** 8: 616-619.

Kumar V, Singhand VK, RANI, T (2017) Influence of nitrogen, potassium and their interaction on growth and phenology of papaya cv. Pusa dwarf. **Journal of Crop and Weed** 13:60-63.

Kuscu H, Turhan A, Ozmen N, Aydinol P, Demir AO (2014) Optimizing Levels of Water and Nitrogen Applied through Drip Irrigation for Yield, Quality, and Water Productivity of Processing Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Horticulture, Environment and Biotechnology** 55:103-114.

Llanos HB, Gutiérrez CRC, Cárdenas MG (2015) Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas em invernadero. **Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales** 2:76-86.

Liu K, Zhang TQ, Tan CS, Astatkie T (2011) Responses of fruit yield and quality of processing tomato to drip-irrigation and fertilizers phosphorus and potassium. **Agronomy Journal** 103:1339-1345.

Lucena RRM, Negreiros MZ, Medeiros JF, Batista TMV, Bessa ATM, Lopes WAR (2013) Acúmulo de massa seca e nutrientes pelo tomateiro 'SM-16' cultivado em solo com diferentes coberturas. **Horticultura Brasileira** 31:401-409.

Luna AM, García ER, Servín JLC, Herrera AL, Arellano JS (2014) Evaluation of different concentrations of nitrogen for tomato seedling production (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Universal Journal of Agricultural Research** 2:305-312.

Medeiros RM, Pereira WE, Rodrigues RM, Nascimento R, Suassuma JF, Dantas TAG (2015) Growth and yield of strawberry plants fertilized with nitrogen and phosphorus. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 19:865-870.

Miceli A, Miceli C (2014) Effect of nitrogen fertilization on the quality of swiss chard at harvest and during storage as minimally processed produce. **Journal of Food Quality** 37:125-134.

Ortas, I (2013) Influences of nitrogen and potassium fertilizer rates on pepper and tomato yield and nutrient uptake under field conditions. **Scientific Research and Essays** 8:1048-1055.

Özalkan Ç, Sepetoğlu HT, Daur I, Şen OF (2010) Relationship between some plant growth parameters and grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) during different growth stages. **Turkish Journal of Field Crops** 15:79-83.

Parisi M, Giordano I, Pentangelo A, D'onofrio B, Villari G (2006) Effects of different levels of nitrogen fertilization on yield and fruit quality in processing tomato. **Acta Horticulture** 700:129-132.

Park BS, Song JT, Seo HS (2011) *Arabidopsis* nitrate reductase activity is stimulated by the E3 SUMO ligase AtSIZ1. **Nature Communications** 19:1-10.

Pedó T, Aumonde TZ, Martinazzo EG, Villela FA, Lopes NF, Mauch CR (2014) Análise de crescimento de plantas de rabanete submetidas a doses de adubação nitrogenada. **Bioscience Journal** 30:1-7.

Peil RM, Galvez JL (2005) Dry matter partitioning as a determinant of greenhouse fruit vegetable crops production. **Revista Brasileira de Agrociência** 11:5-11.

Rashid A, Rab A, mohammad H, Ali J, Shahab M, Jamal A, Rehman A, A-li M (2016) Effect of row spacing and nitrogen levels on the growth and yield of tomato under walk-in polythene tunnel condition. **Pure and Applied Biology** 5:426-438.

San-Martín-Hernández C, Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, Volke-Haller VH, Escalante-Estrada JA, Sánchez-García P, Saucedo-Veloz C (2016) Nitrogen and potassium nutrition differentially affect tomato biomass and growth. **Interciencia** 41:60-66.

Soares BB, Rangel R (2012) Aspectos industriais da cultura. In: Clemente FMVT, Boiteux LS. **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 331-344.

Souza AHC, Rezende R, Lorenzoini MZ, Seron CC, Hachmann TL, Lozano CS (2017) Response of eggplant crop fertigated with doses of nitrogen and potassium. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 1, p. 21-26, 2017.

Swiader JM, Sipp SK, Brown RE (1994). Pumpkin growth, flowering, and fruiting response to nitrogen and potassium sprinkler fertigation in sandy soil. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 119:414-419.

Tasca FA, Ernani PR, Rogeri DA, Gatiboni, LC, Cassol PC (2011) Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 493-502, 2011.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A (2017) **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, 888p.

Trani PE.; Raij B van (1997). Hortaliças. In: Raij, Bvan, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, (Boletim Técnico, 100)**. 2.ed.rev.atual. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 157-185.

Vinha AF, Alves RC, Barreira SVP, Castro A, Costa ASG, Oliveira MBPP (2014) Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. **Food Science and Technology** 55:197-202.

Warner J, Zhang TQ, Hao X (2004) Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. **Canadian Journal of Plant Science** 84:865-871.

Wira, AB, Jamil, ZA, Armizatul SAH (2013) Effect of varying nitrogen levels on plant sap characteristics and growth performance of tomato (*Lycopersicum esculentum* var. baccarat). **Journal of Tropical Agriculture and Food Science** 41:183-191.

Yang BM, Yao LX, Li GL, He ZH, Zhou CM (2015) Dynamic changes of nutrition in litchi foliar and effects of potassium–nitrogen fertilization ratio. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 15:98-110.

Xiukang W, Yingying X (2016) Evaluation of the effect of irrigation and fertilization by drip fertigation on tomato yield and water use efficiency in greenhouse. **International Journal of Agronomy** 2016:1-10, 2016.

Xu F, Guo W, Xu W, Wei Y, Wang R (2009) Leaf morphology correlates with water and light availability: What consequences for simple and compound leaves?. **Progress in Natural Science** 19:1789-1798.

Zhang F, Niu J, Zhang W, Chen X, Li C, Yuan L, Xie J (2010) Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. **Plant Soil** 335:21-34.

CAPÍTULO 2 - NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE TOMATE PARA PROCESSAMENTO INDUSTRIAL

RESUMO – A interação positiva do nitrogênio (N) e potássio (K) é bem conhecida, e para algumas culturas tem apresentado aumento na produtividade e qualidade, porém para tomate para processamento indústria este efeito é pouco conhecido. Neste contexto, objetivou-se avaliar doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ N) e de K (0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ K₂O) sobre a produtividade, rendimento de polpa e qualidade dos frutos de tomateiro ‘Heinz 9553’ para processamento industrial. O experimento foi realizado de abril a agosto de 2015 no município de Barretos, Estado de São Paulo, Brasil. A fonte utilizada para o fornecimento de N foi a ureia e cloreto de potássio para K. A fertilização com 180 kg ha⁻¹ N e de 400 kg ha⁻¹ K₂O proporcionou maior produtividade de frutos coloridos, vermelhos e total, e rendimento industrial de polpa de tomate. As doses de N e de K não afetaram os teores de betacaroteno e de licopeno. O teor de sólidos solúveis no tomate aumentou tanto com a fertilização nitrogenada quanto com a fertilização potássica. As doses altas de N e K diminuíram a firmeza dos frutos. O aumento de vitamina C do fruto respondeu em maior intensidade à adubação nitrogenada que a potássica. Os aumentos no fornecimento de nitrogênio e potássio proporcionaram incrementos na produtividade e no rendimento de polpa, mas a qualidade dos frutos, exceto o teor de sólidos solúveis, diminuiu.

PALAVRAS-CHAVE: Estado nutricional, fertilização, maturação de frutos, *Solanum lycopersicum*, vitamina C

NITROGEN AND POTASSIUM IN TOMATO PRODUCTIVITY AND QUALITY FOR INDUSTRIAL PROCESSING

ABSTRACT – The positive interaction of nitrogen (N) and potassium (K) is well known, and for some crops there has been an increase in productivity and quality, but for tomatoes for processing industry this effect is little known. In this context, the objective of this study was to evaluate N rates (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ N) and K (0, 100, 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ K₂O) on yield, quality of tomato fruits 'Heinz 9553' for industrial processing. The experiment was carried out from April to August 2015 in the city of Barretos, State of São Paulo, Brazil. The source used for the supply of N was urea and potassium chloride for K. Fertilization with 180 kg ha⁻¹ N and 400 kg ha⁻¹ K₂O provided higher productivity of red, whole and colored fruits, and industrial yield of tomato paste. The doses of N and K did not affect the levels of beta-carotene and lycopene. The content of soluble solids in tomatoes increased with both nitrogen fertilization and potassium fertilization. High doses of N and K decreased fruit firmness. The increase of vitamin C of the fruit responded more intensely to nitrogen fertilization than potassium. Increases in nitrogen and potassium yield provided increases in yield and pulp yield, but the fruit quality, except to soluble solids, decreased.

KEYWORDS: Nutritional status, fertilization, fruit ripening, *Solanum lycopersicum*, vitamin C

1 INTRODUÇÃO

Entre as hortaliças mais consumidas no mundo encontra-se o tomate, que possui excelentes compostos para a saúde humana, como vitamina C e licopeno (Ya-Dan et al., 2017). O consumo de tomate nas últimas décadas seja *in natura* seja processado foi aumentado de forma progressiva, com tendência a continuar crescendo e criar ainda mais espaço para o desenvolvimento do mercado.

Dentre os fatores de produção, um dos que mais influenciam a produtividade e a qualidade do tomate é a fertilização. Na principal região produtora de tomate para indústria do Estado de São Paulo, e uma das principais do Brasil, os agricultores utilizam entre 20 e 50% a mais de nitrogênio (N) e potássio (K) em relação ao proposto por agências oficiais, pois estas são recomendações que datam dos anos de 1990. Tal situação pode ser atribuída à falta de informações para cultivares atuais, e ao tipo de manejo e de tecnologia utilizada no ambiente de produção, os quais são modificadores do potencial produtivo e, conseqüentemente, da demanda nutricional.

De modo geral, os agricultores têm tendência de aplicar doses de fertilizantes maiores que a recomendada para cultura por deduzirem que a aplicação de doses menores do que as praticadas por eles, implicaria em subfertilização e correr risco de perda de produtividade (Hartz et al., 2005). Porém, assim como na aplicação doses baixas de N e de K, a aplicação de doses excessivas também pode ser prejudicial e ocasionar tanto perda de produtividade como na qualidade dos frutos (Ortas, 2013).

Com aplicação das altas doses de N no tomateiro a firmeza do fruto diminuiu (Kiriimi et al., 2011), a proporção de frutos verdes aumentou (Warner et al., 2004), produtividade total e comercial de frutos reduziu (Zhang et al., 2010), a maturação dos frutos atrasou e o tamanho do fruto foi menor (Kumar et al., 2013) e o teor de vitamina C diminuiu (Ya-Dan et al., 2017).

Na aplicação das maiores doses de K na cultura do tomate foi verificado que não houve no aumento na produtividade comercial e total (Liu et al., 2011), e no teor de vitamina C, pH e sólidos solúveis (Javaria et al., 2012), houve atraso na

frutificação e maturação dos frutos (Kumar et al., 2013) e não houve incremento na licopeno e pH (Liu et al., 2011).

Ademais, pelos fertilizantes nitrogenados ter maior custo e considerável impacto ambiental (Kanter et al.; 2015), quando não manejado adequadamente reduz o retorno econômico e aumenta o risco de poluir o ambiente (Liu et al., 2011). Após aplicação do N no solo perdas podem ocorrer pela lixiviação do NO_3^- contaminando o lençol freático e mananciais alterando a qualidade da água e pela emissão de NH_3 , N_2O e NO para atmosfera, que são gases relacionados com qualidade do ar (NH_3 e NO) e com mudanças climáticas (N_2O) (Keeler et al., 2016).

Todavia, quando doses adequadas de N e de K são aplicadas têm-se ganho de produtividade e qualidade como foi verificado em goiaba 'Paluma' (Lima et al. 2008), em uva 'Crimson Seedless' (El-Razek et al., 2011), em tomate "mesa" (Kumar et al., 2013) e em lichia (Yang et al., 2015).

O N tem efeito no crescimento, no desenvolvimento e, conseqüentemente, na formação do potencial vegetativo das plantas (San-Martín-Hernández et al., 2016), condição fisiologicamente requerida para cumprir o seu máximo potencial produtivo. Por outro lado, o K é o nutriente requerido em maior quantidade pelo tomateiro (Fontes, 2000; Lucena et al., 2013) e considerado como o nutriente chave para incrementar a qualidade dos frutos (Hawkesford et al., 2012). Possui ação osmorreguladora, de ativador enzimático, mitigadora do efeito de estresses ambientais, além de melhorar a eficiência de utilização do N absorvido pelo tomateiro, proveniente da fertilização (Kanai et al., 2011).

O fornecimento adequado de K melhora o funcionamento de enzima responsáveis pela assimilação do amônio e transporte de aminoácidos na planta (Hagin et al., 1990) e torna-se necessário também para manter elevados os níveis da atividade da enzima nitrato redutase (Ali et al., 1991). Com o melhor aproveitamento do N pela ação sinérgica com K pode-se ter aumento de produtividade, qualidade de produtos agrícolas e diminuição do nitrato residual nos solos que, causa poluição do ambiente.

Como o N está mais relacionado com o aumento de produtividade e o K com a qualidade das culturas, a associação de doses otimizadas desses nutrientes pode aumentar a produtividade e de forma conjunta ter ganho de qualidade nos frutos.

Todavia em tomate para processamento industrial há pouca informação quanto à interação desses nutrientes.

Neste contexto, objetivou-se avaliar doses de N e de K sobre a produtividade, rendimento de polpa e qualidade dos frutos de tomateiro para processamento industrial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado de abril a agosto de 2015 no município de Barretos, Estado de São Paulo, Brasil, situado à latitude 20°22'32,37" Sul, 48°39'45,68" Oeste e altitude de 507 m. O clima da localidade é do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por ser tropical chuvoso com precipitação pluvial concentrada no verão e inverno relativamente seco. Apresenta médias anuais de 1253,7 mm, 31,8°C, 24,8°C e 17,4°C para precipitação pluvial, temperaturas máxima, média e mínima, respectivamente (Cepagri, 2015).

Uma miniestação meteorológica da marca *Campbell Scientific*® foi instalada, a 2 m de altura, a cerca de 300 m do local do experimento, sendo configurado para realizar leituras a cada segundo e armazenar a média dos dados a cada 30 minutos por meio de *datalogger* (CR10X, *Campbell Scientific*, Logan, Utah, USA). Durante o período de condução do experimento a média da temperatura máxima foi de 25,5°C (18,3 a 32,8 °C) e da temperatura mínima foi de 13,5°C (6,1 a 20,9 °C). A média umidade relativa do ar foi de 58,6 % (17,3 a 100%).

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, conforme os critérios descritos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Embrapa, 2013).

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos constituíram de combinação de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ N e 0, 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ K₂O. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 5, com quatro repetições. As unidades experimentais

foram constituídas por três fileiras de plantas (9 x 3,6 m), com espaçamento de 1,2 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas e a área útil para coleta de dados correspondeu à fileira central, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

A fonte utilizada para o fornecimento de N foi a ureia (45% N) e cloreto de potássio (60% K₂O) para K. No plantio, foram aplicados 60 kg ha⁻¹ N e 100 kg ha⁻¹ K₂O, exceto nos tratamentos com dose zero destes nutrientes. As quantidades restantes de N e K, de cada tratamento, foram aplicadas em cobertura, parceladas em quatro vezes e em quantidades iguais, aos 14, 28, 42 e 56 dias após o transplântio (DAT) das mudas do tomateiro 'Heinz 9553'. A fertilização de plantio foi realizada no sulco e de cobertura na linha de plantio, ambas manualmente. A incorporação dos fertilizantes aplicados em cobertura foi realizada por irrigação, via pivô central.

2.3 Instalação e condução dos experimentos

O solo na camada 0-20 cm, antes da instalação do experimento, apresentava: 13 g dm⁻³ de M.O, pH_(CaCl₂) 5,1, 1 mmol_c dm⁻³ de Al, 27 mmol_c dm⁻³ de H + Al, 19,2 mmol_c dm⁻³ de SB, 46,2 mmol_c dm⁻³ de CTC e 42% de saturação por bases, 9 mg dm⁻³ de P_(Resina), 1,2 mmol_c dm⁻³ de K, 14 mmol_c dm⁻³ de Ca, 4 mmol_c dm⁻³ de Mg, 6 mg dm⁻³ de S, 31 mg dm⁻³ de Fe, 0,29 mg dm⁻³ de B, 0,7 mg dm⁻³ de Zn, 0,9 mg dm⁻³ de Cu, 2,1 mg dm⁻³ de Mn. De acordo com a análise granulométrica, o solo continha 210, 50 e 740 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente (Raij et al., 2001). O teor de K no solo foi classificado como baixo, segundo Trani et al. (1997). A textura do solo foi classificada como média.

Realizou-se aração, gradagem e calagem com calcário (PRNT = 120%, CaO = 45% e MgO = 20%), 50 dias antes do transplântio das mudas, objetivando-se atingir a saturação por bases do solo de 80%, conforme Trani e Raij (1997). No plantio, além do N e K, conforme os tratamentos, também foram aplicados 400 kg ha⁻¹ P₂O₅, de acordo com recomendação de Trani e Raij (1997), via superfosfato simples.

As mudas de tomate 'Heinz 9553' foram transplantadas no dia 7 de abril de 2015, quando apresentavam quatro folhas completamente expandidas. Este híbrido

de tomate é um dos genótipos mais cultivados no Brasil e em diversas regiões do mundo com finalidade para processamento industrial. O híbrido possui crescimento determinado, maturação concentrada, podendo levar de 110 a 120 dias para atingir a plena maturação (Soares e Rangel, 2012).

Os controles fitossanitário e de plantas daninhas foram realizados conforme as recomendações para a cultura (Clemente e Boiteux, 2012). A irrigação foi feita por pivô central, de acordo com a necessidade hídrica da cultura.

2.4 Características avaliadas

A colheita dos frutos de tomate de todos os tratamentos ocorreu em 11 de agosto de 2015, quando havia transcorrido 126 dias após o transplântio. Após a colheita dos tomates, os frutos foram classificados visualmente, de acordo com a coloração da epiderme: tomates verdes (frutos com toda a epiderme na cor verde, em qualquer intensidade), tomates vermelhos (frutos com toda a epiderme na cor vermelha, em qualquer intensidade), tomates coloridos (frutos que apresentavam a epiderme verde, amarela e vermelha, em quaisquer proporções) (Figura 1).



Figura 1. Classificação realizada visualmente do tomate ‘Heinz 9553’ em fruto verde (a), colorido (b) e vermelho (c).

Os frutos com diâmetro menor que 30 mm não são recomendados para processamento (Soares e Rangel, 2012) desta forma, para fins de padronização, frutos com esta classificação foram descartados.

A massa fresca dos frutos, para cada classe de cor, foi aferida, em balança digital com precisão de 5g. As produtividades ($t\ ha^{-1}$) de frutos verdes, vermelhos e coloridos foram estimadas, considerando-se 33.333 plantas por hectare. A produtividade total correspondeu ao somatório de todos os frutos colhidos.

O rendimento industrial de polpa (RIP), concentrada a 28 °Brix, foi obtido utilizando-se a fórmula: $RIP\ (t\ ha^{-1}) = [(PFV \times 0,95) \times (SS)]/28$, sendo que PFV ($t\ ha^{-1}$) é a produtividade de frutos vermelhos e SS é o teor de sólidos solúveis dos frutos vermelhos (Giordano et al., 2000).

Para análise dos teores foliares de N e K, foi realizada a coleta da quarta folha com pecíolo a partir do ápice da haste principal, considerando para efeito de contagem apenas folhas expandidas, aos 51 DAT, período que coincidiu com o florescimento (Fontes, 2000). As amostras foram compostas por 10 folhas por unidade experimental, uma folha por planta. As folhas foram lavadas e secas em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C, até atingir massa constante. Em seguida, o material seco foi moído em moinho tipo Willey e preparado para determinação dos teores de N e K, conforme métodos descritos por Miyasawa et al. (2009).

Aos 56 DAT, período que correspondeu ao florescimento e início do surgimento dos primeiros frutos, e aos 112 DAT, fase de maturação dos frutos, foi coletada uma planta por unidade experimental para avaliação de área foliar e massa seca de parte aérea. Os folíolos foram separados dos pecíolos para obtenção da área foliar (cm^2) obtida no equipamento LI-COR 3100®. A massa seca de parte aérea (hastes e folhas) foi obtida pesando-se o material lavado, que foi seco em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C até massa constante.

A determinação de firmeza foi realizada em três frutos vermelhos, utilizando-se penetrômetro analógico, com ponteira de 8 mm, tomando-se duas leituras por fruto, em lados opostos da região central do fruto (na circunferência horizontal), sendo os resultados expressos em quilograma força (kgf).

Para determinação do teor de sólidos solúveis, pH, acidez titulável e vitamina C, foram triturados cinco frutos vermelhos em liquidificador de bancada e posteriormente filtrado para obtenção do suco. O teor de sólidos solúveis (SS), expresso em °Brix, foi obtido com o auxílio de refratômetro digital. O pH foi determinado diretamente no suco do tomate. A leitura foi realizada no momento da

estabilização do pH, também em aparelho digital, calibrado previamente com soluções tampões de pH 7,0 e 4,0 (AOAC, 2000). A acidez titulável (AT) foi medida em suco de tomates homogeneizado. Foi pipetado 20 mL do suco, e adicionados 20 mL de água destilada e 3 gotas da solução indicadora vermelho de metila a 0,1%. A amostra foi agitada até ficar com cor amarela e realizou-se a titulação com NaOH 0,1N até o ponto viragem. O volume titulado foi anotado para cálculo da acidez titulável, expresso em percentagem de ácido cítrico, assumindo que esse seja o ácido orgânico presente em maior quantidade nos frutos de tomate (AOAC, 2000). Equação $AT = (V \cdot 0,1 \cdot f \cdot 0,06404 \cdot 100) / 20$, sendo que: V= Volume (mL) de NaOH gasto na titulação, 0,1= Normalidade da solução NaOH, f= Fator de correção da solução de NaOH (Concentração encontrada após a padronização / Concentração teórica), 0,06404 = Fator alcali do ácido predominante no fruto (ácido cítrico), 20 = Volume (mL) utilizado da amostra.

A vitamina C (VC) foi realizada por titulometria, pela reação do suco com o corante 2,6-dicloroindofenol. O resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico por 100 mL de suco do fruto. Para tanto, após a obtenção do suco dos tomates, foi pipetado 5 mL de suco para um erlenmeyer de 250 mL. Adicionou-se 50 mL de solução ácido oxálico 0,5%, misturando-se cuidadosamente. Posteriormente, transferiu-se 10 mL do extrato para outro erlenmeyer de 250 mL para titulação com o reagente de Tillmans (2,6-dicloroindofenol de coloração azul) até o ponto de viragem (AOAC, 2000). Equação utilizada para determinar o teor de VC ($\mu\text{g } 10\text{mL}^{-1}$) = $(F \cdot V) / 10$ sendo que: F= Fator de correção da solução de Tillmans obtido na padronização (concentração da vitamina C usados na titulação / mL da solução de Tillmans gastos), V= Volume (mL) do reagente Tillman gasto na titulação da amostra, 10= utilizado expressar o resultado por mg 100 mL⁻¹.

Os teores de licopeno e betacaroteno foram determinados em cinco frutos vermelhos com remoção do epicarpo (casca), endocarpo (película interna) e sementes, coletados aleatoriamente, triturados em mix de cozinha até formar uma polpa pastosa e homogênea. Optou-se pela remoção das cascas e sementes por este procedimento fazer parte do processamento industrial de polpa, pelo processo de despulpamento e refinação da produção de polpa concentrada que, ocorre antes de passar pelo processo de evaporação.

Em seguida, foi realizada a aferição de 1 g de cada amostra três vezes (triplicata) em tubos de ensaio revestido com papel alumínio, posteriormente adicionou-se 10 mL da mistura acetona-hexano na proporção (4:6) agitando por 1 minuto. Após a homogeneização do extrato em homogeneizador de tecidos cada amostra foi deixada 30 minutos em repouso. Transcorrido esse período de repouso, pipetou-se 1 mL do sobrenadante do extrato para um tubo protegido com alumínio e diluição de 1:10 para realização da leitura no espectrofotômetro nos seguintes comprimentos de onda: 453nm, 505nm, 645nm, 663nm. O controle (branco) correspondeu à mistura acetona-hexano. As leituras foram feitas em ambiente escuro. As determinações de licopeno e betacaroteno foram realizadas conforme o método de Nagata e Yamashita (1992). Os cálculos das concentrações de licopeno e betacaroteno foram realizados segundo as seguintes equações:

$$\text{Betacaroteno (mg } 100\text{g}^{-1}) = (0,216 \cdot A_{663} - 1,22 \cdot A_{645} - 0,304 \cdot A_{505} + 0,452 \cdot A_{453})$$

$$\text{Licopeno (mg } 100\text{g}^{-1}) = (-0,0458 \cdot A_{663} + 0,204 \cdot A_{645} + 0,372 \cdot A_{505} - 0,0806 \cdot A_{453})$$

sendo que A= absorvância. Os resultados foram multiplicados por 10 para serem expressos em mg kg⁻¹ de massa fresca.

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos às análises estatísticas utilizando-se o “Statistical Analysis System” (Sas Institute, 2000). Inicialmente, para os casos de significância ($p < 0,1$) da interação de doses de N e de K procedeu-se à análise de regressão polinomial múltipla (superfície de resposta) pelo comando RSREG. Nos casos de interação não significativa ($p < 0,1$) foi utilizado o estudo de regressão polinomial para o nutriente em que o efeito foi significativo no teste F a 5 % de significância.

3 RESULTADOS

3.1 Teores foliares de N e K na folha diagnóstica

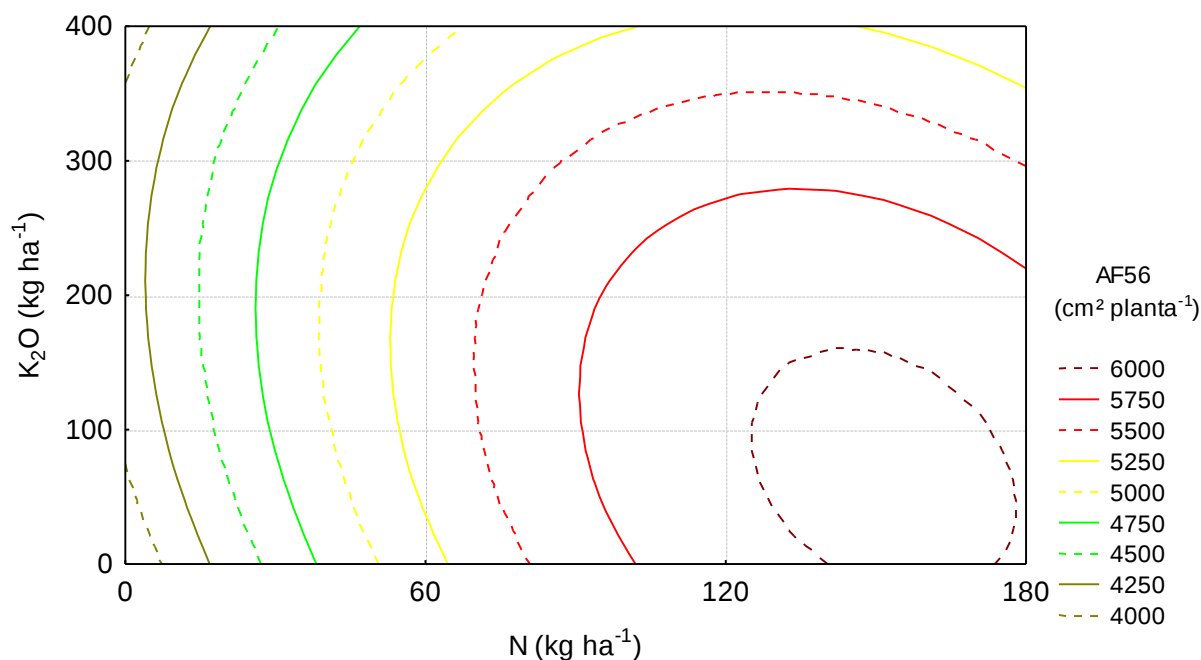
Não houve efeito de interação das doses de N e de K, nem efeito isolado dos fatores sobre os teores de N e K. Os teores foliares de N variaram de 41,3 a 43,7 g

kg⁻¹ com aumento das doses de N. Para teor foliar de K variaram de 19,6 a 25,8 g kg⁻¹ com aumento das doses de K.

3.2 Área foliar e massa seca de parte aérea aos 56 e 112 DAT

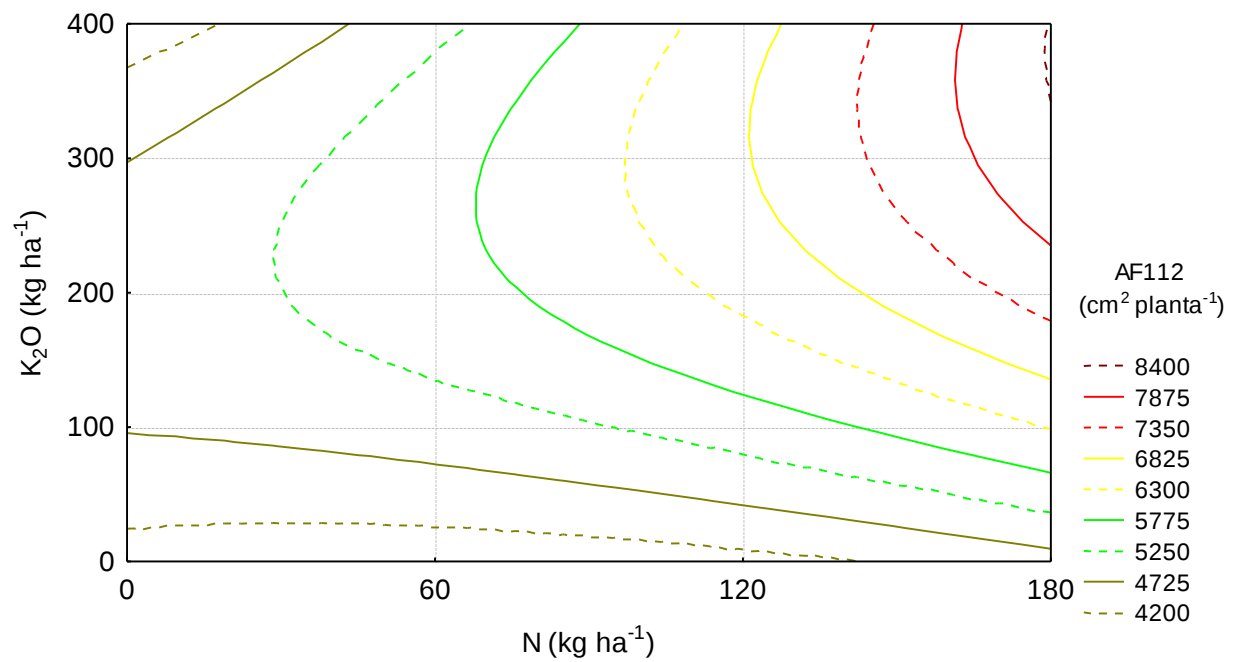
A interação entre as doses de N e de K foi significativa para área foliar, aos 56 e 112 DAT, e para massa seca da parte aérea, aos 112 DAT do tomateiro. A máxima área foliar, aos 56 DAT, foi de 6.059,63 cm² planta⁻¹, obtida com a combinação da dose de 150 kg ha⁻¹ N e 70 kg ha⁻¹ K₂O (Figura 2). Aos 112 DAT, a máxima área foliar foi de 8.438,70 cm² planta⁻¹ com 180 kg ha⁻¹ N e 380 kg ha⁻¹ K₂O (Figura 3).

A máxima massa seca de parte aérea, aos 112 DAT, foi de 101,23 g planta⁻¹ com as doses de 180 kg ha⁻¹ N e de 300 kg ha⁻¹ K₂O. De forma similar ao verificado para área foliar, aos 112 DAT, a menor massa seca de parte aérea também foi constatada nos tratamentos sem a aplicação de N e K (Figura 4).



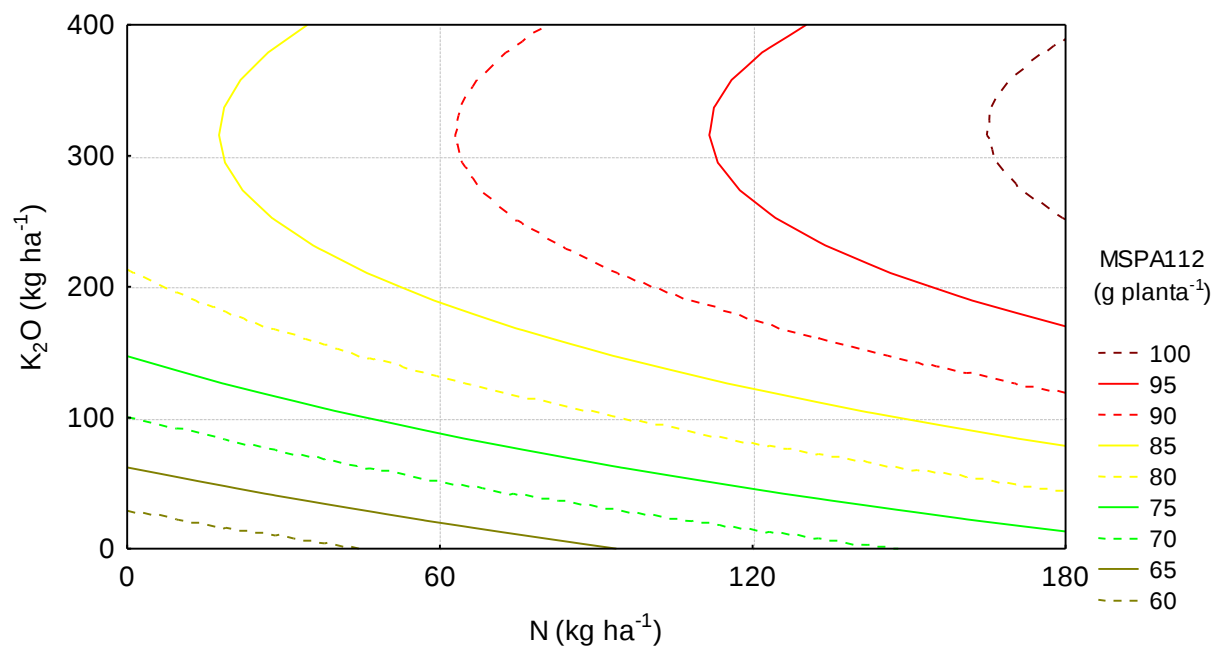
$$y = 3798,474026 + 28,351063N + 3,278924K - 0,090184N^2 - 0,014734NK - 0,007587K^2 \quad (R^2 = 0,65; F = 5,12^{***})$$

Figura 2. Área foliar aos 56 dias após o transplante (AF56) de tomate 'Heinz 9553', em função da interação nitrogênio e potássio.



$$Y = 3957,481170 - 4,1307N + 10,663212K + 0,040791N^2 + 0,055241NK - 0,027198K^2 \quad (R^2 = 0,64; F = 4,99^{***})$$

Figura 3. Área foliar aos 112 dias após o transplântio (AF112) de tomate 'Heinz 9553', em função da interação nitrogênio e potássio.



$$z = 55,1523 + 0,112801N + 0,175893K - 8,3935E-5N^2 + 1,3789E-5NK - 0,000278K^2 \quad (R^2 = 0,46; F = 2,34^*)$$

Figura 4. Massa seca de parte aérea de tomate 'Heinz 9553', aos 112 dias após o transplântio (MSPA112), em função da interação nitrogênio e potássio.

3.3 Produtividade e rendimento de polpa em função de doses de nitrogênio e potássio

Houve efeito isolado do N e do K na produtividade de frutos verdes. Ambos se ajustaram ao modelo linear de regressão, com aumentos de frutos verdes com incrementos das doses dos nutrientes. A maior produtividade de frutos verdes com aplicação de 180 kg ha⁻¹ N foi de 9,30 t ha⁻¹ e com aplicação de 400 kg ha⁻¹ K₂O foi de 8,10 t ha⁻¹ (Figura 5a e b).

A interação entre as doses de N e de K foram significativas para as produtividades de frutos coloridos, de frutos vermelhos, total de frutos e para rendimento industrial de polpa (Figuras 6, 7, 8 e 9). A produtividade de frutos coloridos variou de 12 a 22 t ha⁻¹, e a maior produtividade foi verificada com a combinação de 180 kg ha⁻¹ N com 400 kg ha⁻¹ K₂O (Figura 6). A produtividade de frutos vermelhos variou de 70 a 108 t ha⁻¹, com a maior produtividade na combinação de 180 kg ha⁻¹ N com 400 kg ha⁻¹ K₂O (Figura 7). A produtividade total de frutos variou de 89 a 141 t ha⁻¹, e foi maior com 180 kg ha⁻¹ N e 400 kg ha⁻¹ K₂O (Figura 8). O maior rendimento industrial de polpa foi de 15,71 t ha⁻¹ constatado nas mesmas doses que maximizaram a produtividade total (Figura 9).

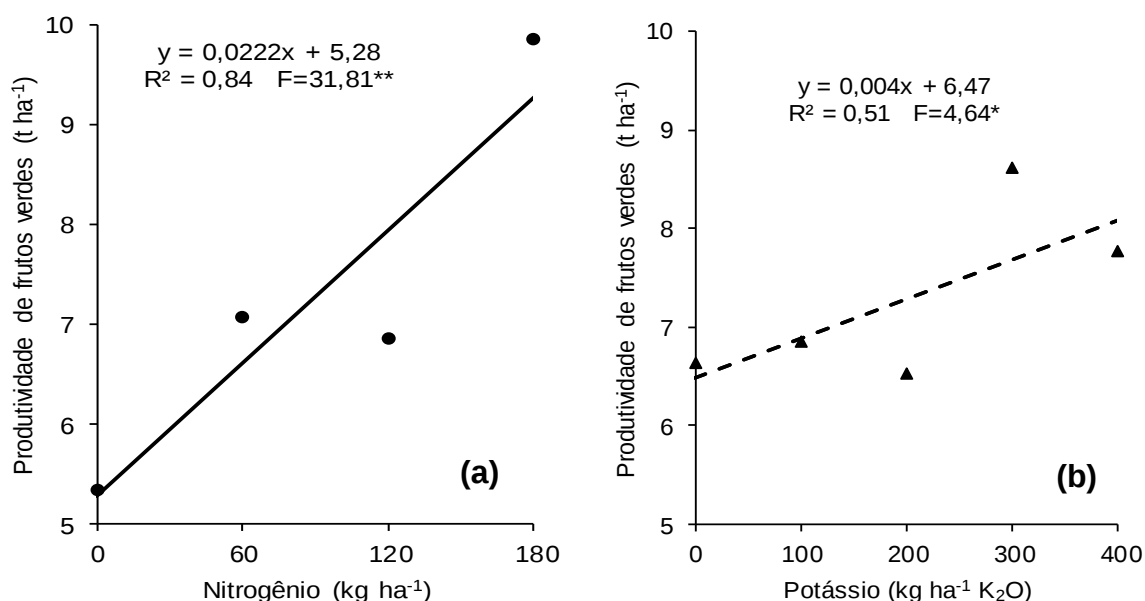
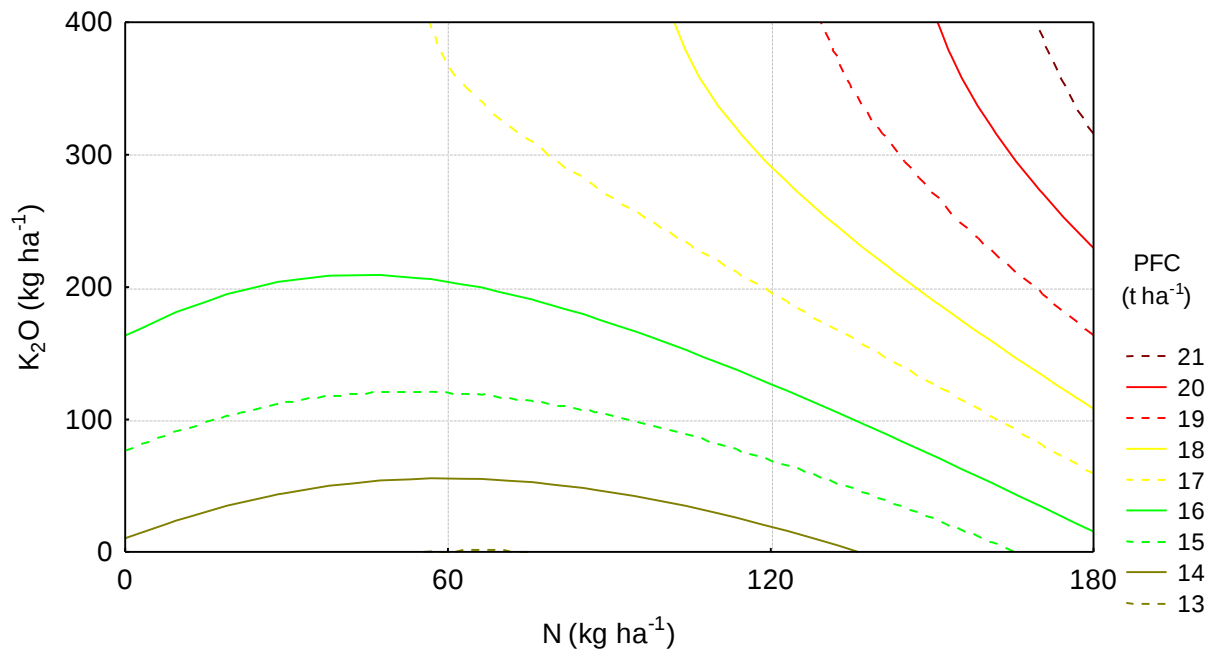
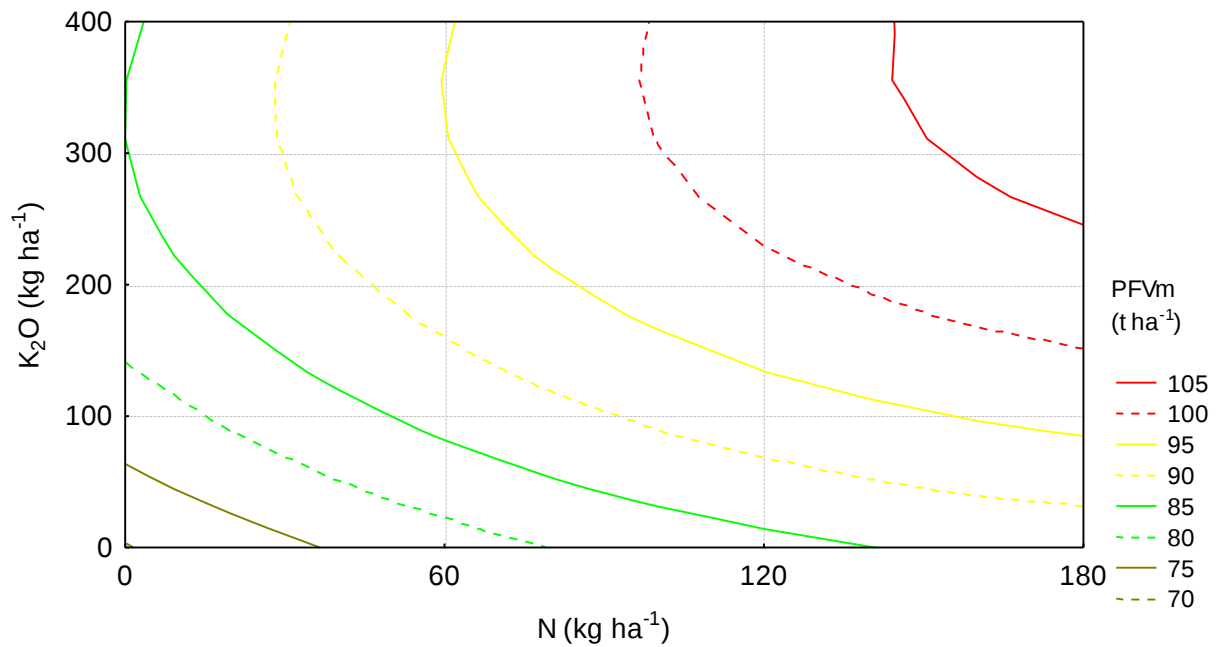


Figura 5. Produtividade de frutos verdes de tomate ‘Heinz 9553’ em função doses de nitrogênio (a) e de potássio (b).



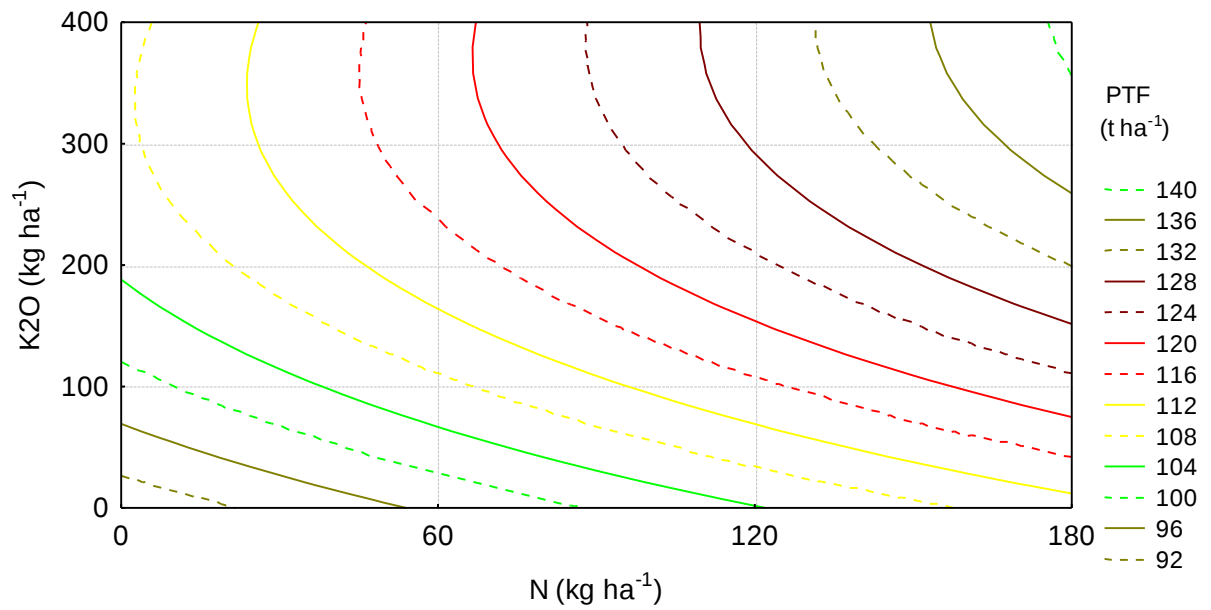
$$y = 13,827828 - 0,026096N + 0,0172160K + 0,000201N^2 + 4,0523E-5NK - 2,3596E-5K^2 \quad (R^2 = 0,48; F = 2,58^*)$$

Figura 6. Produtividade de frutos coloridos (PFC) de tomate 'Heinz 9553' em função da interação nitrogênio e potássio.



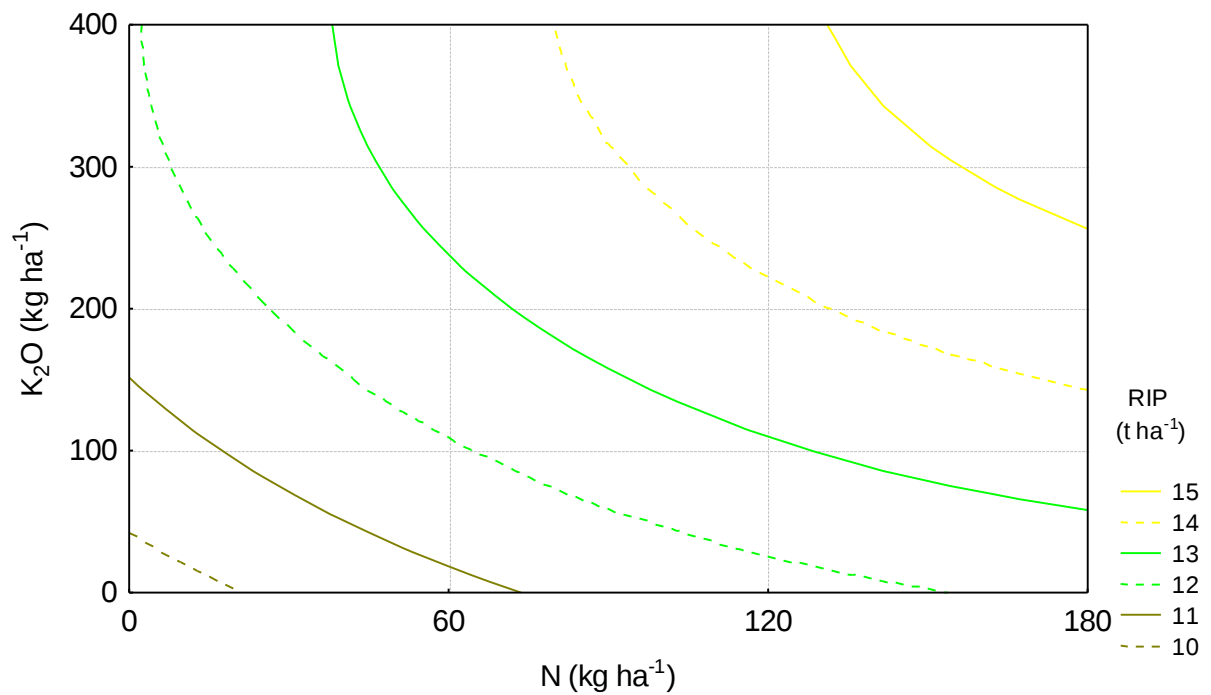
$$y = 69,70657 + 0,15814N + 0,093175K - 0,000352N^2 + 8,9649E-5NK - 0,000141K^2 \quad (R^2 = 0,62; 4,61^{**})$$

Figura 7. Produtividade de frutos vermelhos (PFVm) de tomate 'Heinz 9553' em função da interação nitrogênio e potássio.



$$y = 89,233451 + 0,128928N + 0,109149K - 6,4311E-5N^2 + 0,000178NK - 0,000163K^2 \quad (R^2 = 0,69; F = 6,27^{***})$$

Figura 8. Produtividade total de frutos (PTF) tomate 'Heinz 9553' em função da interação nitrogênio e potássio.



$$y = 9,522980 + 0,023743N + 0,012044K - 4,9608E-5N^2 + 1,5461E-5NK - 1,5063E-5K^2 \quad (R^2 = 0,71; F = 6,80^{***})$$

Figura 9. Rendimento industrial de polpa (RIP) de tomate 'Heinz 9553' em função da interação nitrogênio e potássio.

3.4 Atributos físicos e químicos de qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e potássio

Para teores de sólidos solúveis dos frutos não houve interação entre as doses de N e de K, mas houve efeito isolado com ajuste linear tanto para doses de N quanto para doses de K. Os sólidos solúveis variaram entre 4,08 e 4,21°Brix, com o aumento da dose N (Figura 10a). Com o aumento das doses de K os sólidos solúveis variaram entre 4,06 e 4,22°Brix (Figura 10b).

A interação entre as doses de N e de K foi significativa para firmeza dos frutos e vitamina C do tomateiro. A firmeza dos frutos variou de 2,27 a 3,21 kgf, sendo a máxima firmeza observada quando se aplicou 140 kg ha⁻¹ N e sem fertilização potássica. Verificou-se que a menor firmeza foi verificada com combinação das maiores doses dos nutrientes (180 kg ha⁻¹ N e 400 kg ha⁻¹ K₂O) (Figura 11).

O teor máximo de vitamina C foi de 20,15 mg 100mL⁻¹ obtida com a combinação dose de 130 kg ha⁻¹ N com 30 kg ha⁻¹ K₂O (Figura 12).

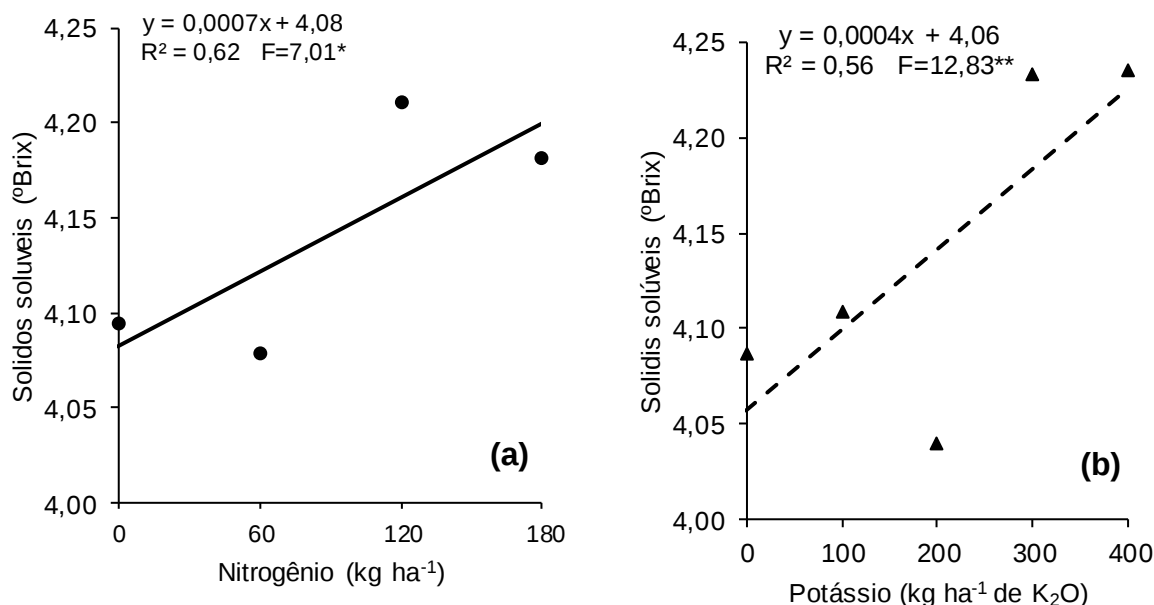
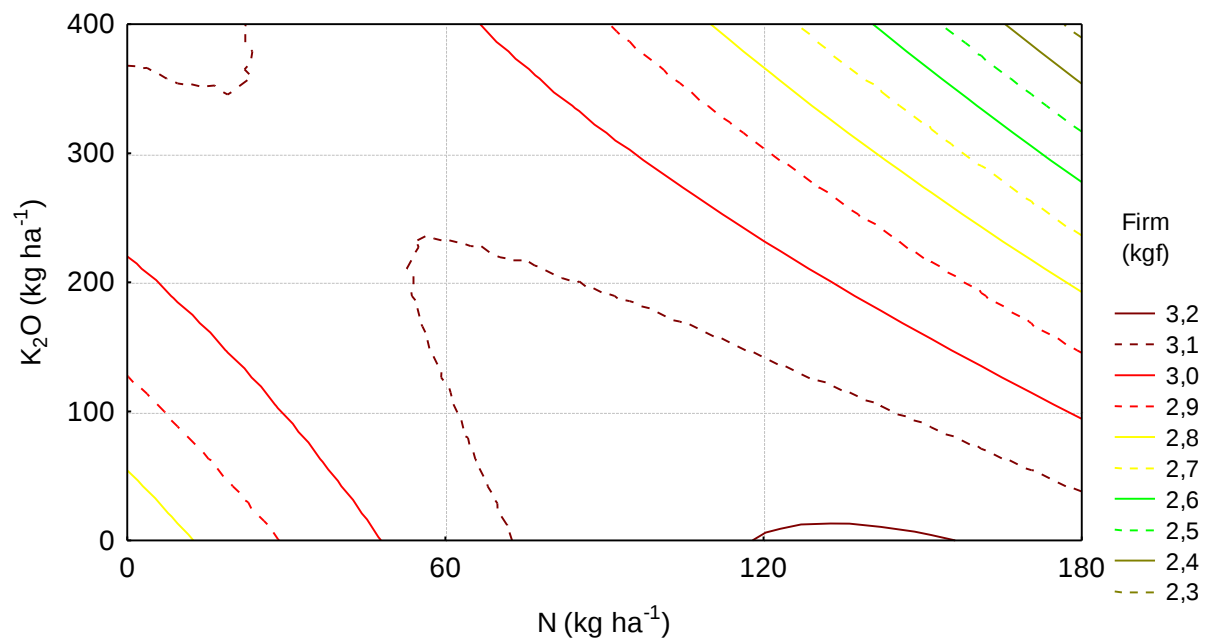
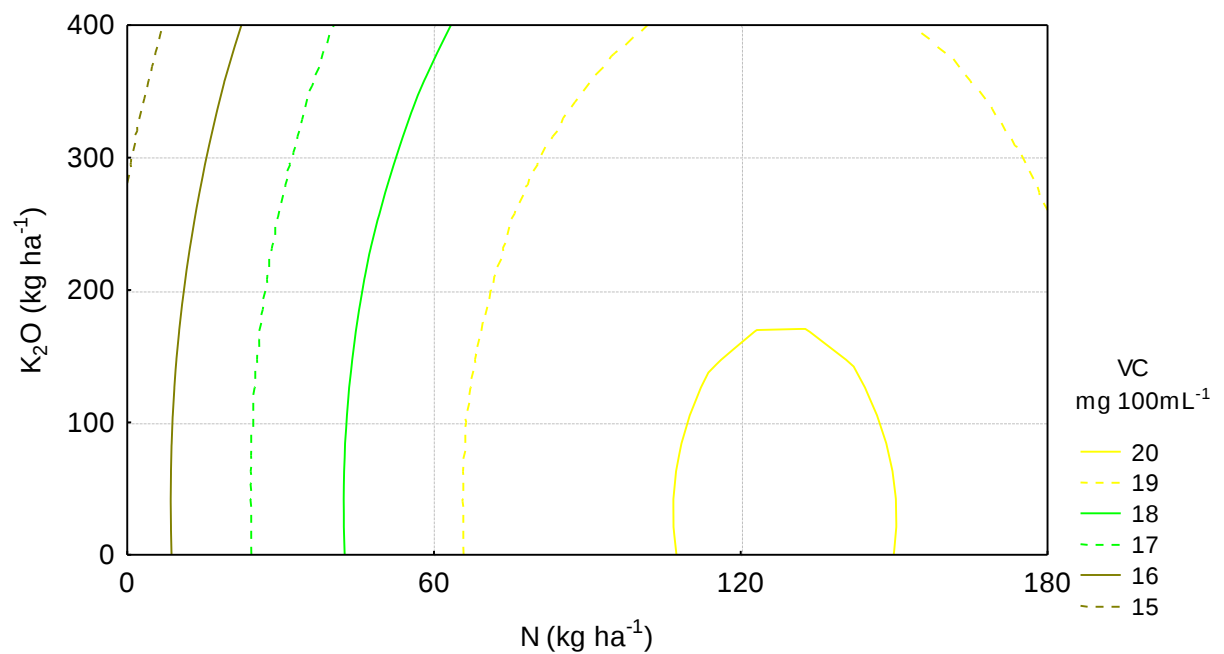


Figura 10. Sólidos solúveis de tomate 'Heinz 9553' em função das doses de nitrogênio (a) e de potássio (b).



$$y = 2,714345 + 0,007237N + 0,001671K - 2,6404E-5N^2 - 1,7908E-5NK - 1,692E-5K^2 \quad (R^2 = 0,75; F = 8,18^{***})$$

Figura 11. Firmeza (Firm) dos frutos de tomate 'Heinz 9553' em função da interação nitrogênio e potássio.



$$y = 15,381286 + 0,073923N + 0,000584K - 0,000287N^2 - 1,2343E-6NK - 6,913E-6K^2 \quad (R^2 = 0,75; F = 8,39^{***})$$

Figura 12. Teores de vitamina C (VC) em frutos de tomate 'Heinz 9553' em função da interação nitrogênio e potássio.

4 DISCUSSÃO

Os teores foliares de N situaram-se dentro da faixa considerada adequada para tomate de indústria, que é de 40 a 60 g kg⁻¹, conforme Fontes (2000).

Independentemente da dose de K aplicada, todos os teores foliares de K situaram-se abaixo da faixa de 30 a 50 g kg⁻¹, considerada adequada por Fontes (2000). Entretanto, não foi observado sintomas de deficiência.

De acordo com Çolpan et al. (2013), a relação N/K na folha é mais importante que analisar o teor de N foliar de forma isolada, devido aos efeitos restritivos do baixo teor de N na folha quando esta relação é baixa. Neste trabalho, a relação N/K na folha variou entre 1,9 e 1,8, valores adequados ou pouco acima do limite superior da faixa considerada ideal (1,2 a 1,8), por Campbell (2000), para a cultura do tomate.

Para obter alta produtividade, é relevante que a planta consiga expressar todo o seu potencial vegetativo. Aos 56 DAT, a máxima área foliar das plantas foi cerca de 50% maior que a área foliar de plantas não fertilizadas com N e com K ou fertilizadas apenas com K. Neste período, a planta encontrava-se no início da fase reprodutiva, com surgimento e crescimento dos primeiros frutos, que passaram a ser o principal dreno de fotoassimilados da planta. Em tomateiro para processamento industrial, mais de 60% do crescimento de partes vegetativas ocorre no período de seis semanas, entre o início de frutificação até o surgimento dos primeiros frutos vermelhos (Hartze e Bottoms, 2009).

Plantas com maiores áreas foliares corresponderam a tomateiros com maior capacidade de prover fotossintatos aos órgãos tidos como drenos, a exemplo de folhas jovens e a manutenção das existentes, mas principalmente para atender a demanda de formação e do desenvolvimento das estruturas reprodutivas (San-Martín-Hernández et al., 2016). No início da frutificação (56 DAT), a menor dose de N, mesmo com altas doses de K, gerou plantas com pequena área foliar e que não se mantiveram até o final de ciclo, o que promoveu a senescência precoce e a redução da capacidade fotossintética da planta.

Aos 112 DAT foi verificado que, com 180 kg ha⁻¹ N e 380 kg ha⁻¹ K₂O, a área foliar foi 113% maior que em plantas que não receberam fertilização nitrogenada e

potássica (Figura 3). A massa seca de parte aérea com 180 kg ha⁻¹ N e 300 kg ha⁻¹ K₂O foi 45% maior que em plantas que não receberam fertilização nitrogenada e potássica (Figura 4). O crescimento da planta é favorecido por maiores doses de K (Çolpan et al., 2013) devido à importância deste nutriente em processos fisiológicos e bioquímicos (Wang et al., 2013). Segundo os mesmos autores, a produção dos órgãos vegetativos (folhas) pode ser aumentada e prolongada pela adubação nitrogenada. Conforme Zhang et al. (2010) e Luna et al. (2014), maior área foliar proporcionou maior atividade fotossintética e assimilação de nutrientes, resultando no aumento de fotoassimilados, que repercutiram positivamente na maior produção de massa seca de parte aérea e produtividade de frutos (Figuras 4, 7 e 8).

As maiores produtividades de frutos verdes estiveram associadas sobretudo ao aumento no fornecimento de N e de K ao tomateiro (Figura 5a e b), o que pode ser explicado pelo provável atraso na maturação dos frutos, como foi verificado por Kumar et al. (2013), na fertilização de altas doses de N. Corroborando com Warner et al. (2004) que também verificaram aumento de produtividade de frutos verdes com fertilização de altas dose de N. Plantas bem supridas em N e K produzem maior área foliar e podem propiciar maior pegamento de frutos. Com isso, pode levar o prolongamento do ciclo e maior proporção de frutos verdes na colheita.

As maiores produtividades de frutos coloridos, vermelhos e total, obtidas com as mesmas doses de N (180 kg ha⁻¹) e de K (400 kg ha⁻¹) foram 83%, 50% e 55%, respectivamente, superiores às produtividades de plantas que não receberam fertilização nitrogenada e potássica. A maior produtividade total de frutos (140 t ha⁻¹) neste estudo foi cerca de 22% e 47% superior à maior e à média de produtividade obtida pelos os produtores de tomate para processamento da principal região produtora do Estado de São Paulo, cujos produtores, em geral, aplicam 180 kg ha⁻¹ de N e 450 kg ha⁻¹ K₂O.

Os teores foliares de N e K associados às doses desses nutrientes que maximizaram a produtividade foram 43,3 g kg⁻¹ N e 22,8 g kg⁻¹ K, esses teores são considerados adequados para N e deficientes para K (Fontes, 2000).

As respostas positivas às doses de N e de K observadas para produtividade de frutos vermelhos, que é mais interessante para a indústria, estão associadas às plantas que apresentaram maior área foliar e massa seca de parte aérea, tanto aos

56 quanto aos 112 DAT. As maiores doses contribuíram não só para formar no início da frutificação alto potencial vegetativo e reprodutivo, como também pela manutenção do dossel até a fase final do cultivo (14 dias antes da colheita – 112 DAT), o que, segundo San-Martín-Hernández et al. (2016), é pressuposto para se obter alta produtividade na cultura do tomate.

O maior rendimento industrial de polpa verificado com a maior dose de N e K foi 60% superior ao rendimento dos tomateiros não fertilizados com estes nutrientes. Os maiores rendimentos de polpa estão relacionados com a obtenção das maiores produtividades de frutos vermelhos e de teores de sólidos solúveis, os quais foram obtidos com a aplicação das maiores doses de N e de K. O rendimento de polpa verificado por Carvalho et al. (2003), com o tomate 'Heinz 9553', foi de 15,04 t ha⁻¹ com 140 kg ha⁻¹ N e 340 kg ha⁻¹ K₂O, rendimento de polpa similar ao obtido no presente trabalho com aplicação de 180 kg ha⁻¹ N e 400 kg ha⁻¹ K₂O. Estes autores observaram que para rendimento de polpa houve correlação fenotípica e genotípica positiva com a produtividade total de frutos, produtividade de frutos vermelhos e teor de sólidos solúveis.

Os teores de sólidos solúveis neste estudo situaram-se na faixa desejável que tem como ideal entre 4 e 6 °Brix (Soares e Rangel, 2012). O aumento linear de sólidos solúveis nos frutos em resposta ao fornecimento de K está relacionado com a participação do nutriente na fotossíntese e transporte dos fotoassimilados para os frutos (Hawkesford et al., 2012). Para cada incremento de 1º Brix na polpa tem-se um aumento de 20% no rendimento industrial de polpa (Soares e Rangel, 2012). Desta forma, quanto mais elevado for o teor de sólidos solúveis, maior será o rendimento industrial, menor será a demanda de energia no processo de evaporação da água do suco de tomate e de concentração da polpa. Normalmente, até o empacotamento dos produtos a granel a polpa concentrada fica armazenada com sólidos solúveis entre 27 e 31 °Brix (Barret et al., 2007).

No tomate 'Azard T6', Kumar et al. (2013) também verificaram que houve aumento de 68% e 75% no teor de sólidos solúveis com fertilização nitrogenada de 120 e 180 kg ha⁻¹ N, respectivamente, em relação ao tratamento sem fertilização nitrogenada.

O aumento do teor de sólidos solúveis com aplicação de doses de K também foi observado por Liu et al. (2011), em frutos de tomate 'Esperanza'.

A máxima firmeza do fruto (3,21 kgf) foi 41% maior do que a menor (2,27 kgf). Esse atributo é importante para evitar danos físicos durante a colheita, transporte e armazenamento dos frutos para a indústria (Kimirí et al., 2011). O aumento da firmeza com a dose de N sem aplicação de K não é algo comum na literatura. Feleafel (2005) atribui ao fato do N aumentar o teor de água no protoplasma. Frutos com maior firmeza ficam menos susceptíveis às deformações e ao rompimento da epiderme, evitando extravasamento do suco celular, ocorrência de fermentação e deterioração (Soares e Rangel, 2012).

A diminuição da firmeza dos frutos com aumentos nas doses de N e de K pode estar relacionada com o aumento da área foliar e massa seca de parte aérea aos 112 DAT que pode ter alterado a partição de cálcio entre folhas e frutos. O cálcio desempenha função fundamental na integridade e estabilidade da membrana celular (Hawkesford et al., 2012). Com a redução de cálcio nos frutos aumenta-se a atividade da enzima galacturonase que degrada os pectatos de cálcio, que diminui a estabilidade das paredes celulares e a resistência a danos físicos no fruto (Serrano et al., 2002). Com as doses de N e K que maximizaram as produtividades de frutos vermelhos e total, e o rendimento industrial de polpa ($180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ e $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$), a firmeza foi de 2,27 kgf.

Com fertilização de $130 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ combinado com $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, o teor de vitamina C foi cerca de 39% maior que o verificado com a dose $0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ e $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$. O teor de vitamina C no fruto foi mais responsivo a aplicação de N que ao K. Dose de N acima de 130 kg ha^{-1} diminuiu o teor de vitamina C independente da dose de K aplicada. Mozafar (1993) atribuiu ao uso de altas dose de fertilizantes nitrogenados o aumento da concentração de nitrato nos órgãos dos vegetais que, resultaria na diminuição simultânea do teor da vitamina C. Neste estudo, o teor de vitamina C foi menos responsivo ao K que ao N. Porém, de acordo com Salas-Pérez et al. (2018), o K é considerado elemento essencial para o metabolismo dos carboidratos e da fotossíntese, o que contribui para o aumento do teor de açúcares nos órgãos drenos, como os frutos, e maiores teores de vitamina C, elevando a qualidade do produto. No tomate 'Difenni', Ya-Dan et al. (2017) verificaram que o

teor de vitamina C aumentou com até aplicação 250 kg ha⁻¹ N. O maior teor de vitamina C verificado por Ahmad et al. (2015) foi com a fertilização de 60 kg ha⁻¹ K₂O, no tomate 'Nagina'.

5 CONCLUSÕES

Os aumentos no fornecimento de nitrogênio e potássio proporcionaram incrementos na produtividade e no rendimento de polpa, mas a qualidade dos frutos, exceto para sólidos solúveis, diminuiu.

6 REFERÊNCIAS

Ahmad N, Sarfraz M, Farooq U, Arfan-ul-Haq M, Mushtaq MZ, Ali MA (2015) Effect of potassium and its time of application on yield and quality of tomato. **International Journal of Scientific and Research Publications** 5:1-4.

Ali AA, Ikeda M, Yamada Y (1991) Effects of the supply of K, Ca, and Mg on the absorption and assimilation of ammonium-nitrogen and nitrate-nitrogen in tomato plants. **Soil Science and Plant Nutrition** 37:283-289.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC (2000) Official methods of analysis of AOAC International. 17 ed. Gaythersburg, 2200 p.

Barrett, DM, Weakley C, Diaz JV, Watnik M (2007) Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems. **Journal of Food Science** 72:441-451.

Campbell CR. 2000. **Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States**. Disponível em: < www.ncagr.gov/agronomi/saaesd/scsb394.pdf > Acesso em: 26 de novembro de 2017.

Carvalho JOM, Luz JMQ, Juliatti FC, Melo LC, Teodoro REF, Lima LML (2003) Desempenho de famílias e híbridos comerciais de tomateiro para processamento industrial com irrigação por gotejamento. **Horticultura Brasileira** 21:525-533.

CEPAGRI. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_063.html> Acesso em: 15 de nov. 2015.

Clemente FMVT, Boiteux LS (2012) **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa, 344p.

Çolpan E, Zengin M, Özbahç A (2013) The effects of potassium on the yield and fruit quality components of stick tomato. **Horticulture, Environment and Biotechnology** 54:20-28.

El-Razek AE, Treutter D, Saleh MMS, El-Shammaa M, Fouad AA, Abdel-Hamid, N (2011) Effect of nitrogen and potassium fertilization on productivity and fruit quality of 'crimson seedless' grape. **Agriculture and Biology Journal of North America** 2:330-340.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2013) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, p. 197-214.

Feleafel MN (2005) Response of growth, yield and quality of eggplant to varying nitrogen rates and their application systems. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences** 4:122-136.

Fontes, RR (2000) Solo e nutrição de planta. In: Silva JBC, Giordano LB. **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 22-35.

Giordano LB, Silva JBC, Barbosa V (2000) Escolha de cultivares e plantio. In: Silva, J. B. C.; Giordano, L. B. **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 36-59.

Hagin J, Olsen SR, Shaviv A (1990) Review of interaction of ammonium nitrate and potassium nutrition of crops. **Journal of Plant Nutrition** 13:1211-1226.

Hartz TK, Bottoms TG (2009) Nitrogen requirements of drip-irrigated processing tomatoes. **Hortscience** 44:1988–1993.

Hartz TK, Johnstone PR, Francis DM, Miyao EM (2005) Processing tomato yield and fruit quality improved with potassium fertigation. **HortScience** 40:1862-1867, 2005.

Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Moller SI, White P (2012) Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. New York, p. 135-189.

Javaria S, Khan MQ, Bakhsh I (2012) Effect of potassium on chemical and sensory attributes of tomato fruit. **Journal of Animal and Plant Sciences** 22:1081-1085.

Kanai S, Moghaieb RE, El-Shemyc HA, Panigrahi R, Mohapatra PK, Ito J, Nguyen NT, Saneoka H, Fujita K (2011) Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate of the vegetative sink in green house tomato prior to its effects on source activity. **Plant Science** 180:368–374.

Kanter DR, Zhang X, Mauzerall DL (2015). Reducing nitrogen pollution while decreasing farmers' costs and increasing fertilizer industry profits. **Journal of Environmental Quality** 11:325-335.

Keeler, B. L.; Gourevitch, J. D.; Polasky, S.; Isbell, F.; Tessum, W. C.; Hill, J. D., Marshall, J. D (2016) The social costs of nitrogen. **Science Advances** 2:1-9.

Kirimi JK, Itulya FM, Mwaja VN (2011) Effects of nitrogen and spacing on fruit yield of tomato. **African Journal of Horticultural Science** 5:50-60.

Kumar M, Meena ML, Kumar S, Maji S, Kumar D (2013) Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the growth, yield and quality of tomato var. Azad T-6. **The Asian Journal of Horticulture** 8: 616-619.

Lima MAC.; Bassoi LH, Silva DJ, Santos PS, Paes PC, Ribeiro PRA, Dantas BF (2008) Effects of levels of nitrogen and potassium on yield and fruit maturation of irrigated guava trees in the São Francisco Valley. **Revista Brasileira de Fruticultura** 30:246-250.

LIU, K.; ZHANG, T. Q.; TAN, C. S.; ASTATKIE, T. Responses of fruit yield and quality of processing tomato to drip-irrigation and fertilizers phosphorus and potassium. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 3, p.1339-1345, 2011.

Lucena RRM, Negreiros MZ, Medeiros JF, Batista TMV, Bessa ATM, Lopes WAR (2013) Acúmulo de massa seca e nutrientes pelo tomateiro 'SM-16' cultivado em solo com diferentes coberturas. **Horticultura Brasileira** 31: 401-409.

Luna AM, García ER, Servín JLC, Herrera AL, Arellano JS (2014) Evaluation of different concentrations of nitrogen for tomato seedling production (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Universal Journal of Agricultural Research** 2:305-312.

Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo, CAFS, Melo WJ (2009) Análises químicas de tecido vegetal. In.: Silva FC (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa, p. 191-233.

Mozafar A (1993). Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: A review. **Journal of Plant Nutrition** 16:2479-2506.

Nagata M, Yamashita I (1992) Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish** 39:925-928.

Ortas, I (2013) Influences of nitrogen and potassium fertilizer rates on pepper and tomato yield and nutrient uptake under field conditions. **Scientific Research and Essays** 8:1048-1055.

Raij B. van, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 285p.

Salas-Pérez L, Fornari-Reale T, Preciado-Rangel P, García-Hernández JL, Sánchez-Chávez E, Troyo-Diéguez E (2018) Cultivar variety and added potassium influence the nutraceutical and antioxidant content in hydroponically grown basil (*Ocimum basilicum* L.). **Agronomy** 8:1-14.

San-Martín-Hernández C, Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, Volke-Haller VH, Escalante-Estrada JA, Sánchez-García P, Saucedo-Veloz C (2016) Nitrogen and potassium nutrition differentially affect tomato biomass and growth. **Interciencia** 41:60-66.

SAS Institute (2000) **SAS/STAT User's Guide**. version 4.0.2. SAS Institute Inc; Cary NC.

Serrano M, Amorós A, Pretel MT, Martínez-Madrid MC, Madrid R, Romojaro F (2002) Effect of calcium deficiency on melon (*Cucumis melo* L.) texture and glassiness incidence during ripening. **Food Science and Technology International** 8:147-154.

Soares BB, Rangel R (2012) Aspectos industriais da cultura. In: Clemente FMVT, Boiteux LS. **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 331-344.

Trani PE, Raj B van. (1997). Hortaliças. In: Raj B van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, (Boletim Técnico, 100)**. 2.ed.rev.atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, p. 157-185.

Wang M, Zheng Q, Shen Q, Guo S (2013) The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences** 14:7370-7390.

Warner J, Zhang TQ, Hao X (2004) Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. **Canadian Journal of Plant Science** 84:865-871.

Ya-Dan D, Hong-Xia C, Shi-Quan L, Xiao-Bo G, Yu-Xin C. (2017) 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** 16:1153-1161.

Yang BM, Yao LX, Li GL, He ZH, Zhou CM (2015) Dynamic changes of nutrition in litchi foliar and effects of potassium–nitrogen fertilization ratio. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 15:98-110.

Zhang TQ, Tan CS, Liu K, Drury CF, Papadopoulos AP, Warner J (2010) Yield and economic assessments of fertilizer nitrogen and phosphorus for processing tomato with drip fertigation. **Agronomy Journal** 102:774-780.

CAPÍTULO 3 – CRESCIMENTO DO TOMATEIRO PARA PROCESSAMENTO INDUSTRIAL EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO – O nitrogênio (N) é considerado o nutriente que mais afeta o crescimento das plantas, conhecer como ocorre o crescimento de determinada cultura ao longo do ciclo com a aplicação de dose de N é fundamental para o planejamento do cultivo de forma racional. Objetivou-se realizar a análise de crescimento para avaliar o efeito de doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) na produção de biomassa do tomateiro ‘Heinz 9553’ para processamento industrial. O experimento foi realizado de abril a agosto de 2015 no município de Barretos, Estado de São Paulo, Brasil. A fonte de N foi a ureia e as avaliações do crescimento foram realizadas aos 14, 28, 42, 56, 70, 84, 96, 112 e 126 dias após o transplântio (DAT). A fertilização com 180 kg ha⁻¹ N proporcionou maior área foliar, massa seca de folha, massa seca de parte aérea (folhas + hastes), massa seca de fruto, massa seca total, índice de área foliar, razão de área foliar e razão de massa de folha ao fim do ciclo. As menores de taxa de crescimento relativo e área foliar específica foram verificadas com 180 kg ha⁻¹. Para todas doses de N, a taxa de crescimento absoluto foi pequena até 56 DAT e, posteriormente, a dose de N promoveu incremento diferenciado sobre o índice.

PALAVRAS-CHAVE: Área foliar, fertilização, *Solanum lycopersicum*, taxa de crescimento, análise de crescimento

PROCESSING TOMATO GROWTH AS FUNCTION OF NITROGEN DOSES

ABSTRACT - The nitrogen (N) is considered as the nutrient that most affects the growth of the plants, knowing how the growth of a given crop occurs along the cycle with the application of N dose is fundamental for the rational planning of the crop. In this context, growth analysis was carried out to evaluate the effect of nitrogen doses (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹) on biomass production of 'Heinz 9553' tomato for industrial processing. The experiment was carried out from April to August 2015 in the city of Barretos, State of São Paulo, Brazil. The source used for the supply of N was urea (45% N) and the growth assessment was at 14, 28, 42, 56, 70, 84, 96, 112 and 126 days after transplanting (DAT). Fertilization with 180 kg ha⁻¹ N provides greater leaf area, dry leaf mass, shoot dry mass (leaves + stems), dry fruit mass, total dry mass, leaf area index, leaf area ratio and ratio of sheet mass at the end of the cycle. The lowest relative growth rate and specific leaf area are verified with 180 kg ha⁻¹. For all doses of N, the absolute growth rate is small up to 56 DAT and, posteriorly, the N dose promotes differential increment of the index.

KEYWORDS: Leaf area, fertilization, *Solanum lycopersicum*, growth rate, growth analysis

1 INTRODUÇÃO

Diversos são os fatores de produção que interagem e afetam o crescimento e o desenvolvimento das culturas. Dentre eles, tem-se a fertilização, técnica que quando manejada adequadamente contribui para atingir o máximo potencial produtivo das culturas. Entre os nutrientes, o nitrogênio (N) é o segundo mais demandado pelo tomateiro (Lucena et al., 2013). Este nutriente participa de diversos processos metabólicos nas plantas como síntese de proteínas, ácidos nucleicos, divisão e alongamento celular, controle de fitormônios e fotossíntese (Hawkesford et al., 2012). A fertilização nitrogenada adequada promove maior crescimento dos órgãos vegetativos da planta na fase inicial de cultivo contribuindo para o aumento do dossel fotossintético que é determinante para a cultura expressar o seu máximo potencial produtivo (Almanza-Merchán et al., 2016).

A fertilização nitrogenada deve ser bem manejada para minimizar as perdas por lixiviação, por volatilização e evitar que as plantas apresentem deficiência de N. Quando a fertilização com N é insuficiente, pode promover o florescimento e maturação precoce de frutos (KUMAR et al., 2013), abortamento de flores e frutos, e menor produção de biomassa tanto de parte vegetativas como de partes reprodutivas (Hawkesford et al., 2012).

As doses excessivas de N elevam o custo de produção e o risco de poluir mananciais e o ar atmosférico (Kanter et al., 2015). A fertilização nitrogenada excessiva também pode atrasar o florescimento e a maturação dos frutos (Kumar et al., 2013), aumentar a produção de biomassa de órgãos vegetativos e diminuir a biomassa de órgãos reprodutivos das plantas (Wira et al., 2013).

Na região de Guaíra, a principal produtora de tomate para processamento do Estado de São Paulo, produtores têm fertilizado a cultura com até 50% a mais que a dose de N recomendada (Trani e Rajj, 1997), talvez pelo próprio fato de ser esta uma referência muito antiga. Entretanto, não foram encontrados outros estudos recentes para a cultura na importante microrregião produtora de tomate para indústria.

A dose de N pode alterar a partição de biomassa na planta entre partes vegetativas e reprodutivas e, com isso, a análise de crescimento permite verificar o efeito de práticas agronômicas, entre elas a fertilização. Essa técnica tem baixo

custo é uma ferramenta bastante útil para auxiliar no planejamento racional de cultivo (Almanza-Merchán et al., 2016).

Neste contexto, objetivou-se realizar a análise de crescimento do tomateiro 'Heinz 9553' para caracterizar o efeito de doses de N no crescimento e na produção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado de abril a agosto de 2015 no município de Barretos, Estado de São Paulo, Brasil, situado à latitude 20°22'32,37" Sul, 48°39'45,68" Oeste e altitude de 507 m. O clima da localidade é do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por ser tropical chuvoso com precipitação pluvial concentrada no verão e inverno relativamente seco. Apresenta médias anuais de 1253,7 mm, 31,8°C, 24,8°C e 17,4°C para precipitação pluvial, temperaturas máxima, média e mínima, respectivamente (Cepagri, 2015).

Uma miniestação meteorológica da marca *Campbell Scientific*® foi instalada, a 2 m de altura, a cerca de 300 m do local do experimento, sendo configurado para realizar leituras a cada segundo e armazenar a média dos dados a cada 30 minutos por meio de *datalogger* (CR10X, *Campbell Scientific*, Logan, Utah, USA). Durante o período de condução do experimento a média da temperatura máxima foi de 25,5°C (18,3-32,8°C) e da temperatura mínima foi de 13,5°C (6,1-20,9°C). A média umidade relativa do ar foi de 58,6 % (17,3-100%).

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, conforme os critérios descritos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Embrapa, 2013).

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ N) e épocas de avaliação (14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112 e 126 DAT). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas no tempo, com três repetições. As unidades experimentais foram constituídas por três fileiras de plantas (9 x 3,6 m),

com espaçamento de 1,2 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas e a área útil para coleta de dados correspondeu à fileira central, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

A fonte utilizada para o fornecimento de N foi a ureia (45% N). No plantio, foram aplicados 60 kg ha⁻¹ N, exceto no tratamento com dose zero desse nutriente. As quantidades restantes de N, de cada tratamento, foram aplicadas em cobertura, parceladas em quatro vezes, e em quantidades iguais aos 14, 28, 42 e 56 dias após o transplântio (DAT) das mudas do tomateiro 'Heinz 9553'. A fertilização de plantio foi realizada no sulco e a de cobertura em linha, a cerca de 15 cm das plantas, ambas manualmente. A incorporação dos fertilizantes aplicados em cobertura foi realizada por irrigação, via pivô central.

2.3 Instalação e condução dos experimentos

O solo na camada 0-20 cm, antes da instalação do experimento, apresentava: 13 g dm⁻³ de M.O, pH_(CaCl₂) 5,1, 1 mmol_c dm⁻³ de Al, 27 mmol_c dm⁻³ de H + Al, 19,2 mmol_c dm⁻³ de SB, 46,2 mmol_c dm⁻³ de CTC e 42% de saturação por bases, 9 mg dm⁻³ de P_(Resina), 1,2 mmol_c dm⁻³ de K, 14 mmol_c dm⁻³ de Ca, 4 mmol_c dm⁻³ de Mg, 6 mg dm⁻³ de S, 31 mg dm⁻³ de Fe, 0,29 mg dm⁻³ de B, 0,7 mg dm⁻³ de Zn, 0,9 mg dm⁻³ de Cu, 2,1 mg dm⁻³ de Mn. De acordo com a análise granulométrica, o solo continha 210, 50 e 740 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente (Raij et al., 2001). O teor de K no solo foi classificado como baixo, segundo Trani e Raij. (1997). A textura do solo foi classificada como média.

Realizou-se aração, gradagem e calagem com calcário (PRNT = 120%, CaO = 45% e MgO = 20%), 50 dias antes do transplântio das mudas, objetivando-se atingir a saturação por bases do solo de 80%, conforme Trani et al. (1997). Além da fertilização com N, conforme os tratamentos, também foram aplicados 400 kg ha⁻¹ P₂O₅ (no plantio) e 300 kg ha⁻¹ K₂O, de acordo com recomendação de Trani e Raij (1997), utilizando-se superfosfato simples e cloreto de potássio (60% K₂O) para fonte de P e K, respectivamente. Na fertilização com potássio foi aplicado 100 kg ha⁻¹ K₂O no plantio e o restante foram aplicadas em cobertura, parceladas em quatro vezes e em quantidades iguais, aos 14, 28, 42 e 56 DAT.

As mudas de tomate 'Heinz 9553' foram transplantadas no dia 7 de abril de 2015, quando apresentavam quatro folhas. Esse híbrido de tomate é um dos genótipos mais cultivados no Brasil e em diversas regiões do mundo com finalidade para processamento industrial. O híbrido possui crescimento determinado, maturação concentrada, podendo levar de 110 a 120 dias para atingir a sua maturação (Soares e Rangel, 2012).

Os controles fitossanitário e de plantas daninhas foram realizados conforme as recomendações para a cultura (Clemente e Boiteux, 2012). A irrigação foi feita por pivô central, de acordo com a necessidade hídrica da cultura.

2.4 Características avaliadas

As plantas foram coletadas no intervalo de 14 dias, com a primeira coleta realizada aos 14 DAT e a última aos 126 DAT (final do ciclo), totalizando nove épocas de avaliação. As plantas foram cortadas na região do hipocótilo, em seguida lavadas, separadas folha (folíolo e pecíolo), haste e frutos, e alocadas em estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até peso constante. Para os frutos foram cinco épocas de avaliação dos 70 a 126 DAT, com intervalo de 14 dias.

2.4.1 Área foliar e massa seca da planta

A área foliar (AF) foi obtida passando-se os folíolos pelo medidor eletrônico de área, da LICOR, modelo 3100, com o resultado expresso em $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$.

A massa seca de folha (MSF) e massa seca da parte aérea (MSPA - Folhas + hastes) foram determinadas em balança de precisão com duas casas decimais e o resultado expresso em g planta^{-1} .

Para determinação da massa seca de frutos (MSFr) os frutos foram lavados e colocados em estufa com ventilação forçada de ar, a 65°C, até massa constante e posteriormente pesadas em balança de precisão com duas casas decimais. A massa seca total (MST) foi obtida somando-se MSPA com MSFr e o resultado expresso em g planta^{-1} .

2.4.2 Índices de crescimento de planta

Os índices foram calculados, conforme Benincasa (2003):

Taxa de crescimento relativo:

$TCR = (\ln MST_2 - \ln MST_1) / (t_2 - t_1)$, em que $\ln$ é o logaritmo neperiano das MST nos tempos 1 e 2, e o resultado expresso em $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$;

Razão de área foliar:

$RAF = AF/MST$, e o resultado expresso em $cm^2\ g^{-1}$;

Área foliar específica:

$AFE = AF/MSF$, e o resultado expresso em $cm^2\ g^{-1}$;

Razão de peso de folha:

$RPF = MSF/MST$, e o resultado expresso em $g\ g^{-1}$;

Índice de área foliar:

$IAF = AF/\text{área ocupada pela planta}$;

Taxa de assimilação aparente:

$TAA = [(MS_2 - MS_1) / (t_2 - t_1)] \times [(\ln AF_2 - \ln AF_1) / (AF_2 - AF_1)]$, e o resultado expresso em $g\ cm^{-2}\ dia^{-1}$.

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o “Statistical Analysis System” (SAS Institute, 2000). Para os casos de significância ($p < 0,1$) da interação de doses de N e épocas de avaliação, procedeu-se à análise de regressão polinomial múltipla (superfície de resposta) pelo comando RSREG.

3 RESULTADOS

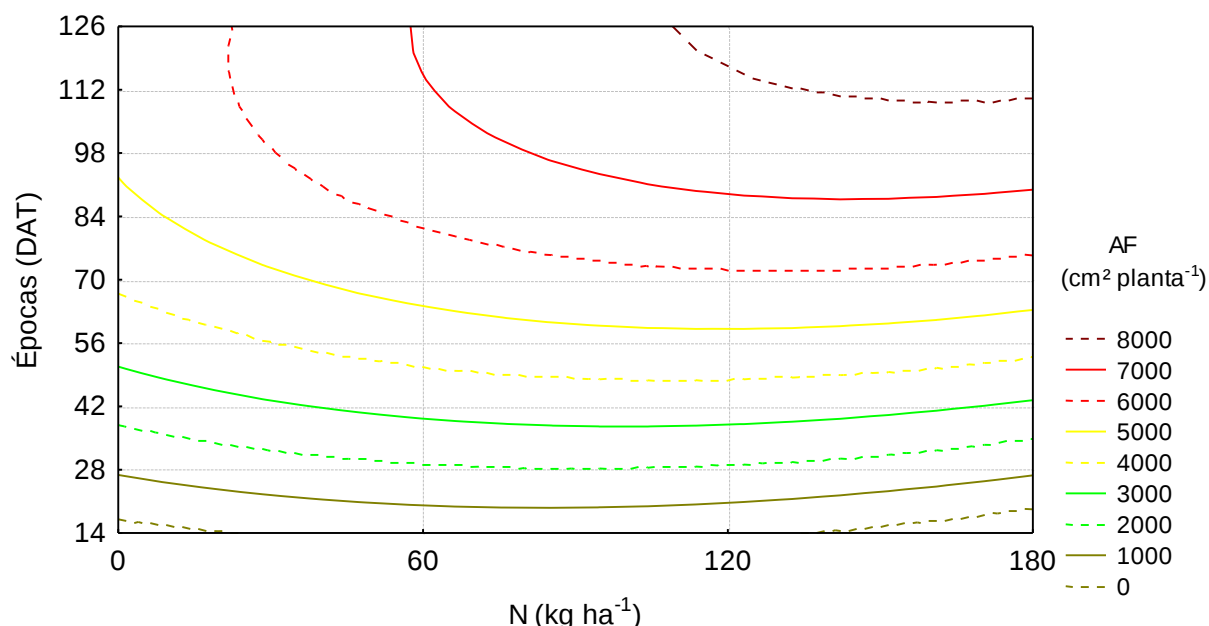
3.1 Área foliar e massa seca do tomateiro

Para AF, MSF e MSPA, houve ajuste do modelo de regressão polinomial múltipla. As respostas da planta aos dois fatores (N e época de avaliação) para as três características foram semelhantes. Maiores AF ($8.483\ cm^2\ planta^{-1}$), MSF ($47\ g$

planta⁻¹) e MSPA (111 g planta⁻¹) foram obtidas aos 126 DAT com 180 kg ha⁻¹ N (Figuras 1, 2 e 3).

As médias observadas para MSFr e a MST também se ajustaram ao modelo de regressão polinomial múltipla. A maior MSFr foi verificada com 180 kg ha⁻¹ N aos 126 DAT, com 214 g planta⁻¹ (Figura 4) e a maior MST (325 g planta⁻¹) com a mesma dose e época (Figura 5).

Os valores MSF, MSPA e MSF/MSPA para a dose 0 e 180 kg ha⁻¹ N, em períodos de 28 dias, verificou-se ao longo do ciclo do tomateiro que as plantas fertilizadas com 180 kg ha⁻¹ N apresentaram maior proporção de folhas que as plantas não fertilizadas (0 kg ha⁻¹ N) (Tabela 1).



$$y = -1982,8224 + 13,7758N + 125,7818E - 0,1032N^2 - 0,5435E^2 + 0,1812NE \quad (R^2 = 0,85; F = 36,73^{**})$$

Figura 1. Área foliar (AF) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplantio).

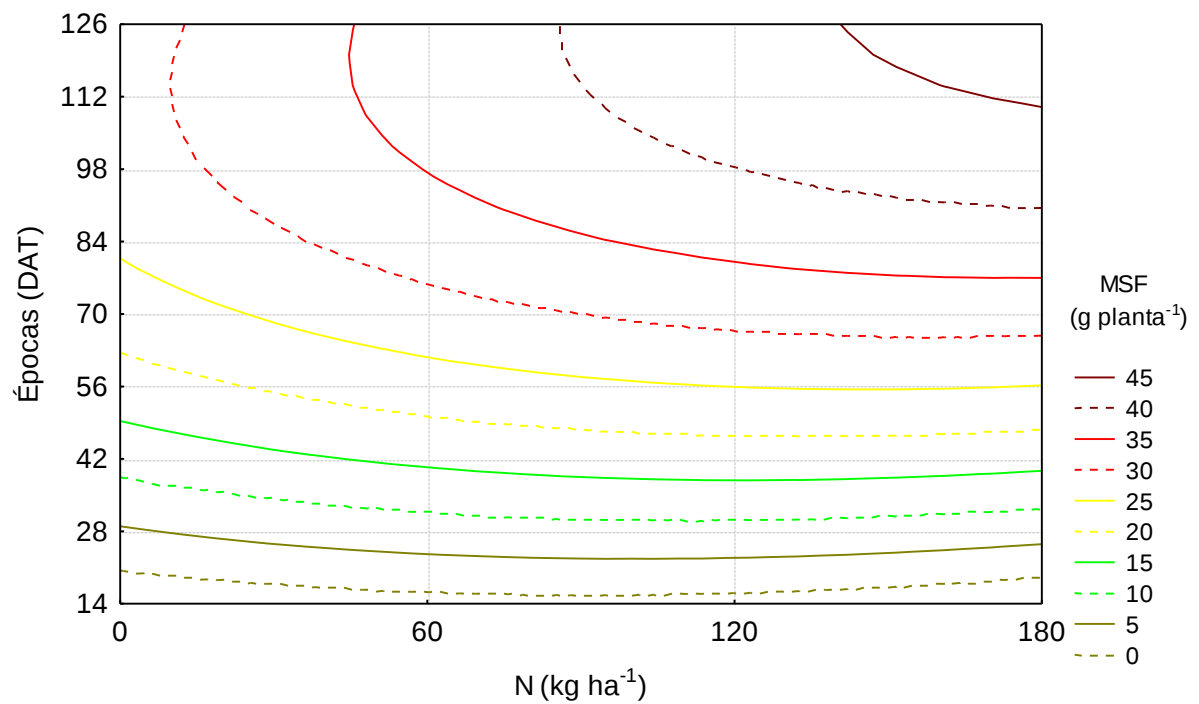


Figura 2. Massa seca de folha (MSF) do tomate ‘Heinz 9553’ em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).

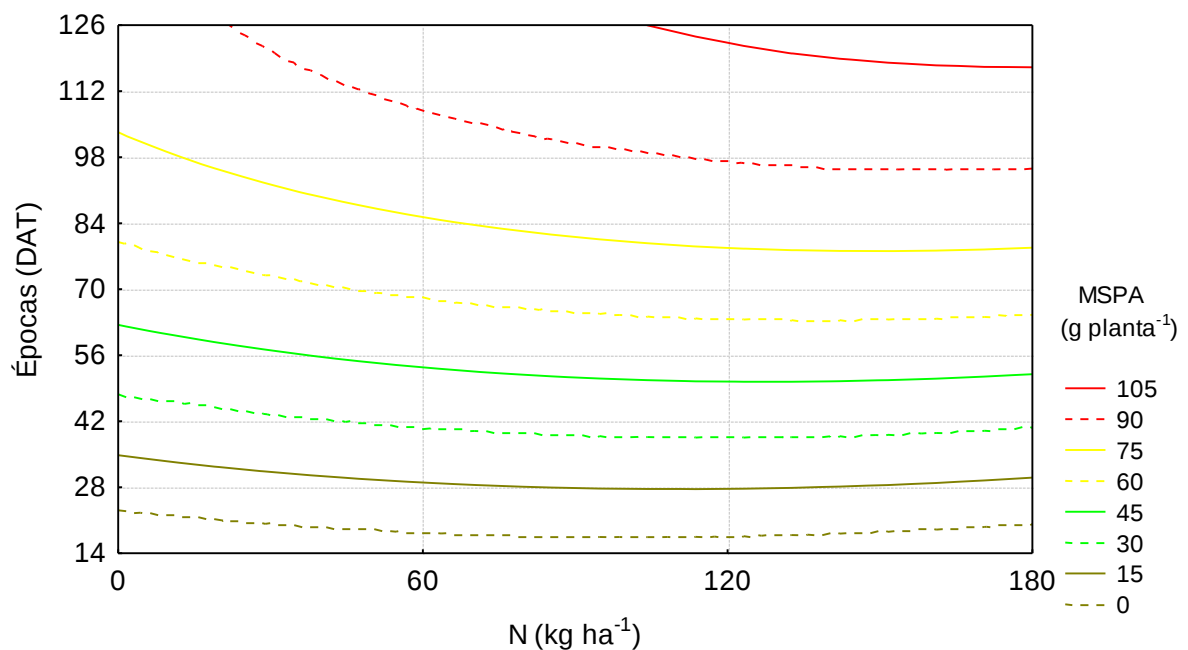


Figura 3. Massa seca de parte aérea (MSPA) do tomate ‘Heinz 9553’ em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).

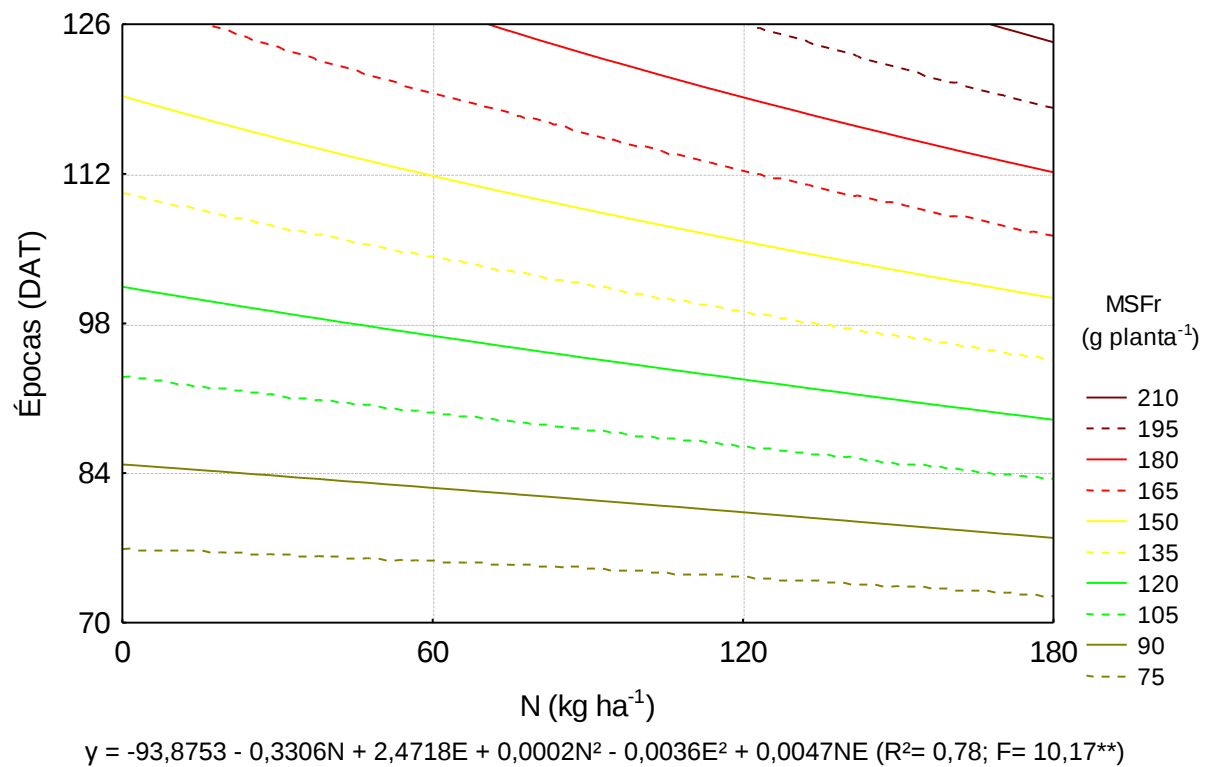


Figura 4. Massa seca de fruto (MSFr) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).

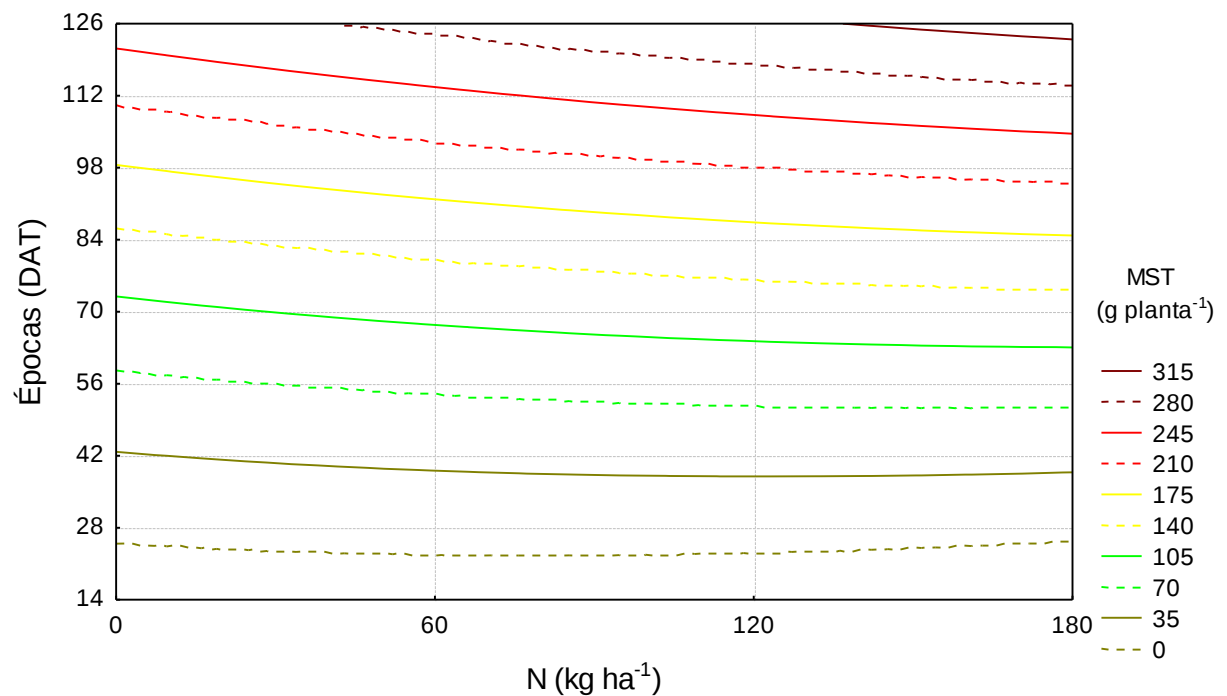


Figura 5. Massa seca total (MST) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).

Tabela 1. Valores do crescimento do tomateiro 'Heinz 9553' correspondentes às doses 0 e 180 kg ha⁻¹ de N, em períodos de 28 dias, a partir de 14 dias após o transplântio até colheita.

Período de 28 dias	0 kg ha ⁻¹ N			180 kg ha ⁻¹ N		
	MSF	MSPA	MSF/MSPA	MSF	MSPA	MSF/MSPA
	----- g planta ⁻¹ -----		-	----- g planta ⁻¹ -----		-
14 - 42	8	11	0,73	10	24	0,42
28 - 56	14	33	0,42	18	38	0,47
42 - 70	10	28	0,36	16	34	0,47
56 - 84	8	24	0,33	13	30	0,43
70 - 98	6	20	0,30	11	26	0,42
84 - 112	3	16	0,19	8	22	0,36
98 - 126	1	12	0,08	5	18	0,28

MSF= Massa seca de folha; MSPA= Massa seca de parte aérea; MSF/MSPA= Relação massa seca de folha/massa seca de parte aérea.

3.2 Índices de crescimento do tomateiro

A TAA não se ajustou ao modelo de regressão linear, quadrática e polinomial múltipla. O contrário foi observado para as médias dos índices TCR, RAF, AFE, RPF e IAF que se ajustaram ao modelo de regressão polinomial múltipla em função da dose de N e época de avaliação.

A TAA não apresentou um padrão de resposta, nem dentro ou entre doses. As maiores TAAs foram observadas aos 70 DAT nas doses 0 e 120 kg ha⁻¹ N, aos 84 DAT nas doses 60 e 180 kg ha⁻¹ N (Tabela 2).

As TCR, RAF, AFE e RPF foram maiores no início do cultivo, aos 14 DAT, e reduziram gradativamente até 126 DAT para TCR, RAF e RPF, e até 109 DAT para AFE, quando teve pequenos incrementos até 126 DAT do tomateiro (Figuras 6, 7, 8 e 9).

A partir dos 98 DAT, as TCRs passaram a ser menores com 180 kg ha⁻¹ N que quando se utilizou 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ N. A partir dos 70 e 98 DAT até os 126 DAT, a RAF na fertilização de 180 kg ha⁻¹ N foi superior a RAF verificada nas doses

0 e 60 kg ha⁻¹ N, respectivamente, e dos 120 DAT até os 126 DAT a RAF na fertilização de 180 kg ha⁻¹ N foi superior a RAF verificada nas plantas fertilizadas com 120 kg ha⁻¹ N.

Na fertilização de 180 kg ha⁻¹ N, as AFEs foram menores que as AFEs verificadas nas menores doses de N, dos 14 DAT até 126 DAT. Para RPF foi verificado que, a partir dos 70, 84 e 98 DAT até os 126 DAT na fertilização de 180 kg ha⁻¹ N, a RPF foi superior a RMF verificada na dose 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ N, respectivamente.

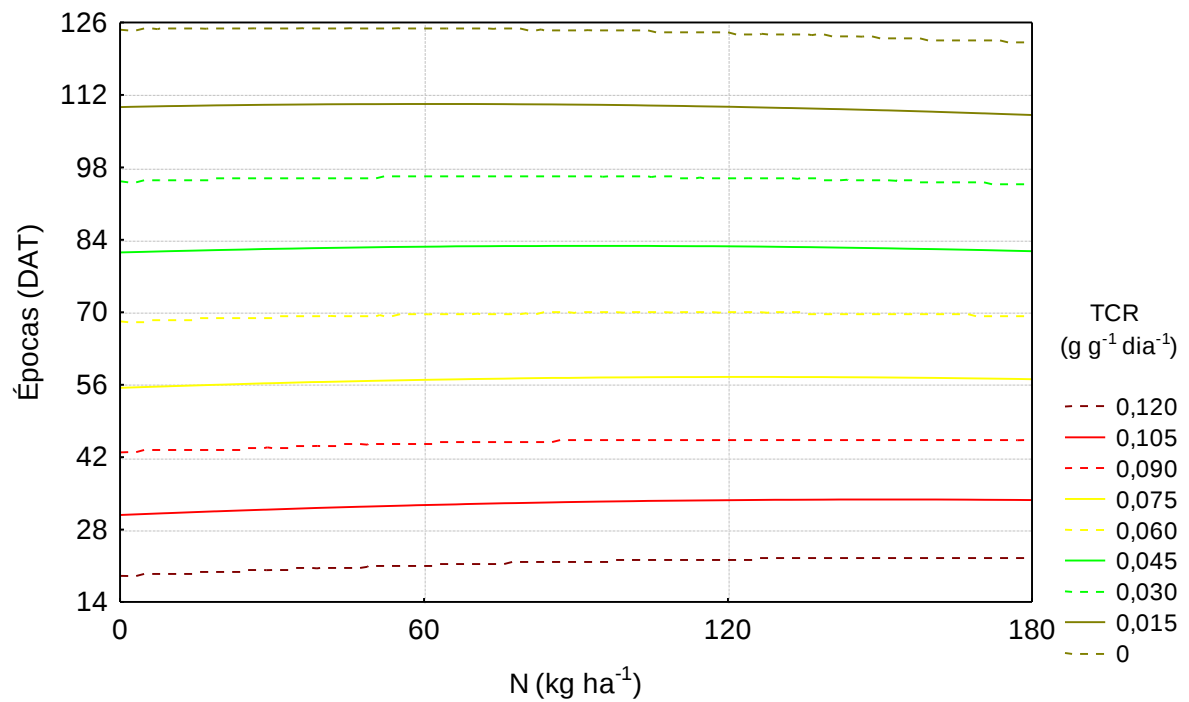
O IAF aumentou ao longo do ciclo, com o maior IAF verificado aos 126 DAT na fertilização de 180 kg ha⁻¹ N. Porém, o IAF apresentou tendência de estabilização na dose 0 e 60 kg ha⁻¹ N a partir dos 112 DAT (Figura 10).

Em síntese, para a maior produção de MSFr, obtida com 180 kg ha⁻¹ de N, os valores do crescimento referentes à idade de 112 DAT, 14 dias antes da colheita, estão compilados na Tabela 3.

Tabela 2. Taxa de assimilação aparente (TAA) do tomate ‘Heinz 9553’ em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplante).

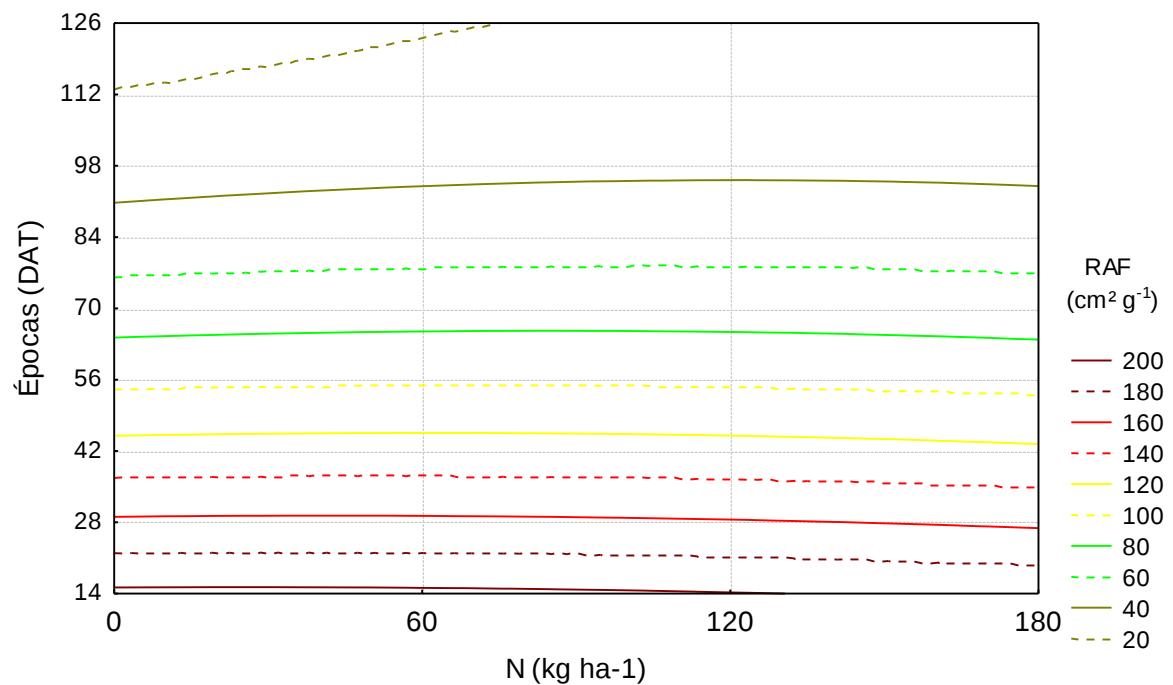
Épocas de avaliação	TAA			
	Doses N (kg ha ⁻¹)			
	0	60	120	180
14	0,0005	0,0005	0,0006	0,0005
28	0,0009	0,0011	0,0009	0,0013
42	0,0006	0,0005	0,0007	0,0006
56	0,0003	0,0005	0,0005	0,0006
70	0,0015	0,0009	0,0011	0,0005
84	0,0000	0,0012	0,0006	0,0017
98	0,0012	0,0000	0,0005	0,0000
112	0,0004	0,0012	0,0000	0,0009
126	0,0004	0,0005	0,0008	0,0000

TAA, em g cm⁻² dia⁻¹.



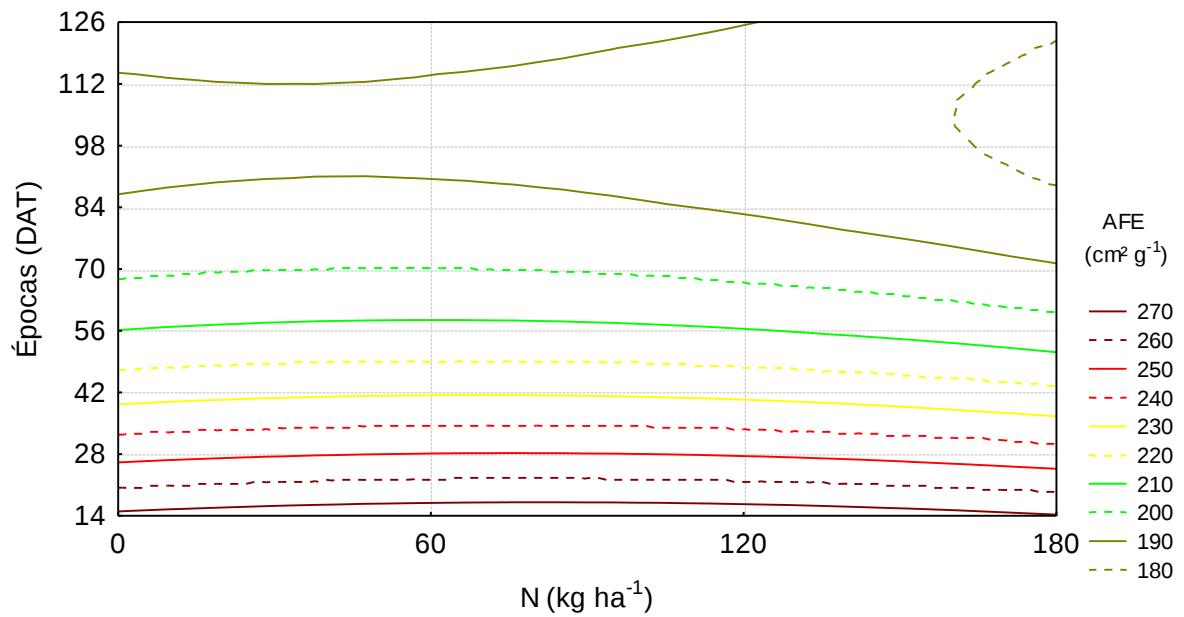
$$y = 0,1451 + 6,2701e-5N - 0,0013E - 1,6351e-7N^2 + 1,4709e-6E^2 - 3,8879e-7NE \quad (R^2 = 0,67; F = 12,22^{**})$$

Figura 6. Taxa de crescimento relativo (TCR) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).



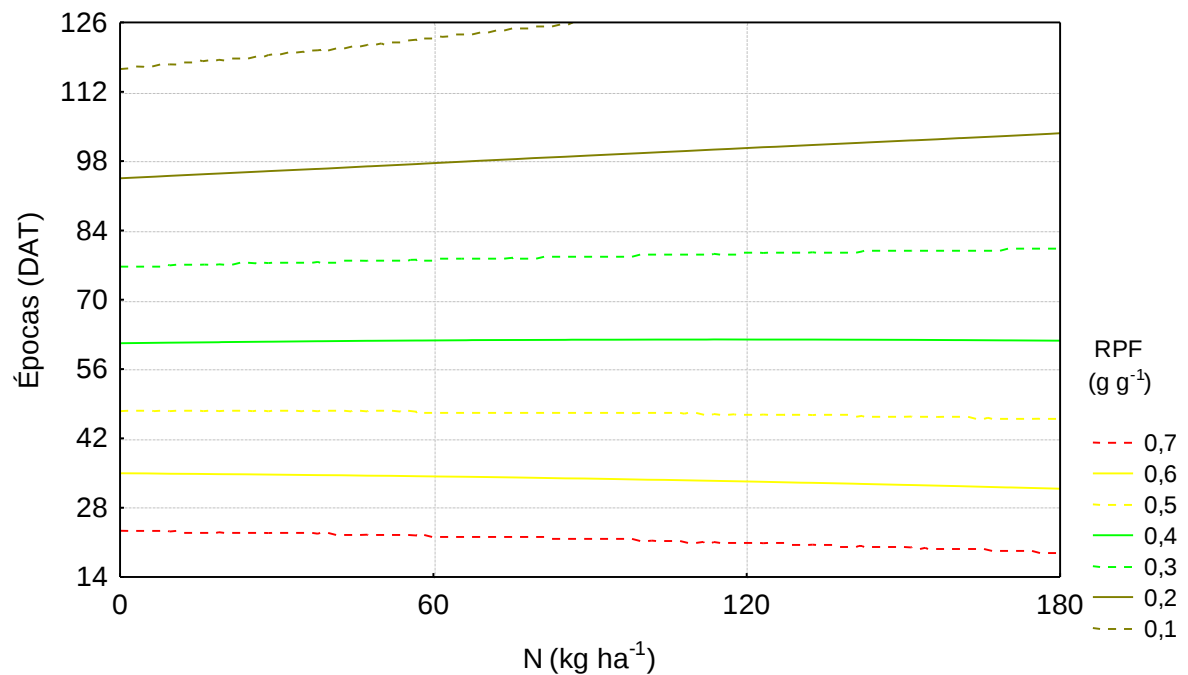
$$y = 249,3091 + 0,0042N - 3,4354E - 0,0003N^2 + 0,0124E^2 + 0,0008NE \quad (R^2 = 0,93; F = 77,94^{**})$$

Figura 7. Razão de área foliar (RAF) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplântio).



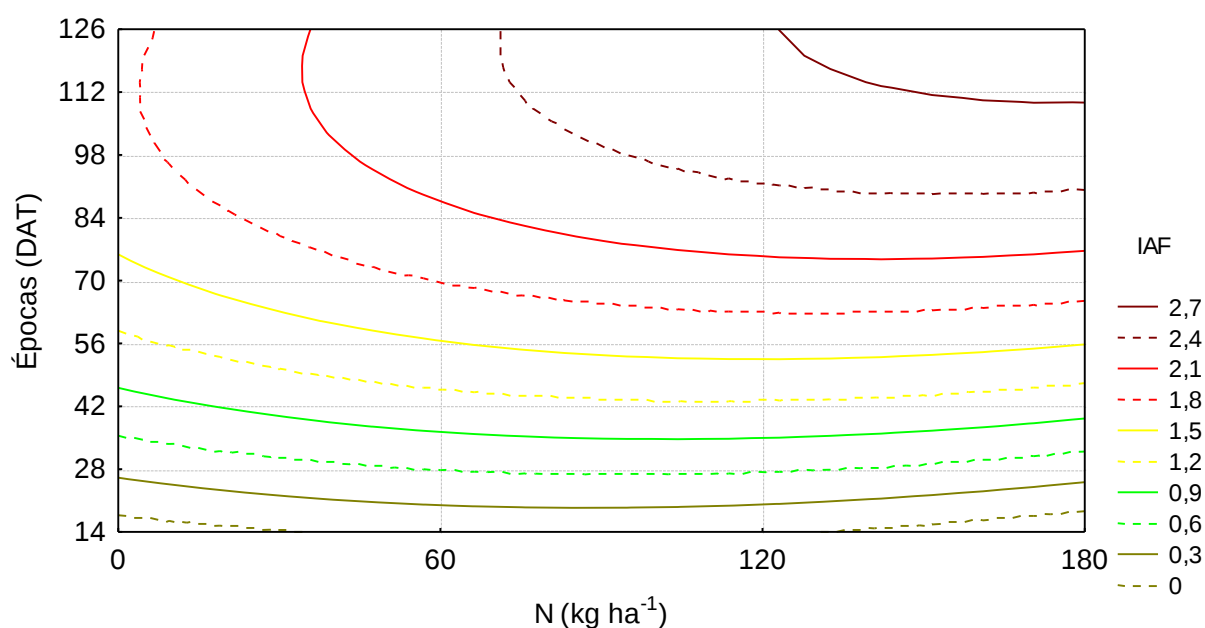
$$y = 301,2423 + 0,106N - 2,2547E - 0,0006N^2 + 0,0112E^2 - 0,0006NE \quad (R^2=0,67; F=12,31^{**})$$

Figura 8. Área foliar específica (AFE) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplante).



$$y = 0,9224 - 0,0003N - 0,0102E - 3,6964e-7N^2 + 2,6691e-5E^2 + 5,4405e-6NE \quad (R^2= 0,91; F= 63,58^{**})$$

Figura 9. Razão de peso de folha (RPF) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT- dias após o transplante).



$$y = -0,7226 + 0,0043N + 0,0444E - 3,0965e-5N^2 - 0,0002E^2 + 5,974e-5NE \quad (R^2 = 0,83; F = 28,79^{**})$$

Figura 10. Índice de área foliar (IAF) do tomate 'Heinz 9553' em função de doses de N e épocas de avaliação (DAT - dias após o transplante).

Tabela 3. Valores do crescimento do tomateiro 'Heinz 9553' correspondentes à dose de 180 kg ha⁻¹ de N, aos 112 dias após o transplante.

AF (cm ² planta ⁻¹)	MSF (g planta ⁻¹)	MSPA (g planta ⁻¹)	MSFr (g planta ⁻¹)	MST (g planta ⁻¹)
8076	45	103	180	271
TCR g g ⁻¹ dia ⁻¹	RAF cm ² g ⁻¹	AFE cm ² g ⁻¹	RPF g g ⁻¹	IAF -
0,016	27	177	0,16	2,7
				TAA g cm ⁻² dia ⁻¹
				0,0009

AF = área foliar; MSF = massa seca foliar; MSPA = massa seca da parte aérea; MSFr = massa seca de frutos; MST = massa seca total; TCR = taxa de crescimento relativo; RAF = razão de área foliar; AFE = área foliar específica; RPF = razão de peso de folha; IAF = índice de área foliar; TAA = taxa de assimilação aparente.

4 DISCUSSÃO

Até próximo ao florescimento, que se iniciou aos 42 DAT, mesmo com as maiores doses de N, foram constatados pequenos incrementos no crescimento de partes vegetativas. No início do crescimento vegetativo a maior proporção da planta é constituída por folhas, cuja produção de fotoassimilados destina-se à formação de

novos órgãos vegetativos que, posteriormente, serão responsáveis em atender à demanda de novos órgãos, vegetativos e reprodutivos (Omaña e Peña, 2015).

A partir dos 56 DAT, o efeito das doses de N sobre a AF, MSF e MSPA ficaram mais acentuados, verificando-se que quanto maior a dose de N maiores foram os valores observados (Figuras 1, 2 e 3). Os maiores incrementos nestas características ocorreram entre 42 e 98 DAT (Figuras 1, 2 e 3). No período de maturação dos frutos, que ocorreu nos últimos 30 dias de ciclo (portanto, a partir de 98 DAT), houve desaceleração do crescimento da AF e do acúmulo de massa em folhas e hastes.

O menor incremento de AF, MSF e MSPA na fase final do ciclo foi variável com a dose de N. Semelhante resposta à adubação nitrogenada foi observada para MSPA, tendo sido constatados incrementos de 4% e 12% com as doses de 0 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente. A maior dose de N aumenta o número de folhas (Pietro-Souza et al., 2013) o que resulta em maiores AF, MSF e MSPA como foi verificado neste trabalho.

Aos 126 DAT, com 180 kg ha⁻¹ N, as AF, MSF e MSPA foram 62%, 68% e 32% maiores, respectivamente, que as AF, MSF e MSPA das plantas que não foram fertilizadas com N, resultados que concordam com Wira et al. (2013). Analisando-se a relação entre MSF e MSPA, verificou-se que a proporção da MSF no total de MSPA aumentou no decorrer do ciclo à medida que aumentou a dose de N (Tabela 1). A manutenção da área fotossinteticamente ativa está relacionado com a obtenção de alta produtividade, que depende da dose N fornecida para a cultura.

Portanto, sob doses de N insuficientes para atender à demanda do tomateiro, houve redistribuição de N das folhas mais velhas para partes mais jovens da planta, como folhas e hastes, e posteriormente para frutos, o que levou à senescência precoce do aparato fotossintético e redução da proporção de MSF na MSPA (folhas e hastes) (Tei et al., 2002; Elia e Conversa, 2012). Assim, a desaceleração do crescimento da AF e do acúmulo de MSF foi mais acentuada na dose 0 e 60 kg ha⁻¹ N e observou-se tendência de declínio da AF e MSF a partir dos 98 DAT, tendência que não foi verificada na fertilização com 120 e 180 kg ha⁻¹ N (Figuras 1 e 2).

Para MSPA, independente da dose de N, não foi verificada a tendência de declínio até o fim do ciclo, fato que ratifica que somente houve perda de folhas, não de hastes.

Até 98 DAT, as plantas já haviam acumulado 71%, 69%, 68% e 67% da produção de MSFr para as doses 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ N, respectivamente. Entretanto, embora semelhantes em percentagem do total acumulado, as máximas quantidades de MSFr foram obtidas com as maiores doses de N, ou seja, 144, 132, 122 e 114 g planta⁻¹ com 180, 120, 60 e 0 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. O resultado é explicado pelo incremento da AF, MSF, MSPA e IAF para cada dose de N (Figuras 1, 2, 3 e 10). A maior parte da MSFr é proveniente do fotoassimilados produzidos nas folhas e transportados para os frutos, que é dependente da relação fonte-dreno (Almanza-Merchán et al., 2016).

Entre 56 e 112 DAT, a MSFr aumentou em 138, 150, 164 e 180 g planta⁻¹ com as doses 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ N, respectivamente (Figura 4). Esse período de grande incremento de MSFr, que compreende os processos de crescimento inicial e de enchimento de fruto, coincide com a maior demanda de N pelo tomateiro (Wira et al., 2013). No período de frutificação, os frutos tornam-se o principal dreno de fotoassimilados e de nutrientes na planta que reduz o incremento de material vegetativo (San-Martín-Hernández et al., 2016), o que motivou os menores incrementos AF, MSF, MSPA e IAF (Figuras 1, 2, 3 e 10).

Os valores observados para as características de crescimento (AF, MSF e MSPA) e IAF podem ser considerados adequados ao tomateiro 'Heinz 9553'; pois, a máxima massa fresca do fruto obtida com 180 kg ha⁻¹ N corresponde à 4,3 kg planta⁻¹ e produtividade de 143 t ha⁻¹, considerando frutos com 5% de massa seca. A produtividade de frutos estimada no presente trabalho pode ser considerada boa, pois foi 40% maior que a produtividade média de 102,5 t ha⁻¹ (90 - 115 t ha⁻¹) obtida pelos produtores de tomate da região de Guaíra, SP (Cecílio Filho e Nowaki, 2016).

A MST aumentou até os 126 DAT independente da dose de N, no entanto, na fertilização de 180 kg ha⁻¹ N a MST foi 25% maior que, as verificadas nas plantas que não receberam fertilização nitrogenada. De modo similar ao trabalho realizado por Omaña e Peña (2015) com tomate, a maior produção de MSFr e MST ocorreu em plantas com maior acúmulo e produção contínua de MSPA.

O acúmulo de MST até 70 DAT para as doses de N variaram de 37% a 39%, indicando que mais de 60% da MST foi acumulada a partir dos 70 DAT até o final do ciclo, período que a produção de fruto é intensificada. No final do ciclo verificou-se que 61%, 62%, 63% e 66% da produção da MST correspondeu à MSFr quando se aplicou 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ N, respectivamente.

A TAA apresentou aumento para todas doses de N até 28 DAT (Tabela 2). Nesta fase, a maioria das folhas estão expostas a energia solar, ou seja, praticamente não há sombreamento, e proporcionalmente a AF é menor do que massa seca produzida, aumentando a eficiência fotossintética das plantas. A TAA entre 28 e 56 DAT diminuiu, indicando que a AF neste período foi proporcionalmente maior que a MST (folhas + hastes) produzida e/ou as folhas começaram a se sobrepor reduzido a eficiência fotossintética.

As maiores TAAs foram observadas aos 70 DAT nas doses 0 e 120 kg ha⁻¹ N e aos 84 DAT na fertilização com 60 e 180 kg ha⁻¹ N, indicando que nestas períodos e para estas doses de N, a AF foi proporcionalmente menor à MST (folha, haste e frutos) produzida, aumentando a eficiência fotossintética provavelmente pela contribuição expressiva da MSFr sobre a MST.

A maior TCR na fase inicial (Figura 6) ocorreu devido a divisão celular ser maior, a planta ter mais meristemas e folhas em crescimento (Azofeifa e Moreira, 2004). O declínio da TCR ao longo do ciclo ocorreu devido ao contínuo acúmulo de MST e pela redução da capacidade relativa da planta em produzir material vegetal novo ao longo do ciclo (Ardila et al., 2011).

A diminuição da TCR foi mais acentuada a partir dos 42 DAT até 98 DAT (Figura 6), período no qual a produção de hastes e folhas foi alta e que contou também com o início de crescimento dos frutos, aumentando a diferença de MST entre os períodos avaliados. A partir dos 98 DAT, os incrementos de MSFr continuaram a ocorrer, mas, os incrementos em AF, MSF e MSPA passaram a ser menores diminuindo a diferença entre a MST nos períodos analisados, resultando na desaceleração da TCR.

As TCRs, a partir dos 98 DAT, foram menores na fertilização com 180 kg ha⁻¹ N que as TCRs verificadas na dose 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ N, indicando que na fertilização de 180 kg ha⁻¹ N a capacidade da planta em emitir ou manter órgãos

vegetativos (principalmente folhas) mesmo nas épocas de avaliação mais avançadas do ciclo da cultura foi maior. Como pode ser verificado pela relação MSF/MSPA, que no período de 98 a 126 DAT foi de 0,08 e 0,28 para dose 0 e 180 kg ha⁻¹ N, respectivamente (Tabela 1).

A redução da RAF foi mais acentuada até 56 DAT devido à planta ter proporcionalmente maior AF por unidade MST (Figuras 1, 5 e 7). Neste período, o incremento na produção de folhas é proporcionalmente superior ao incremento de MST. A partir dos 56 DAT, a redução da RAF foi menos acentuada, possivelmente pela diminuição da diferença entre AF e MST, pois este índice representa o tamanho da AF por unidade de MST ao longo do ciclo (Benincasa, 2003).

Aos 126 DAT, a RAF com 180 kg ha⁻¹ N foi 69%, 16% e 4% superior a RAF verificada com 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ N, respectivamente (Figura 7), indicando que na fertilização de 180 kg ha⁻¹ N a emissão de folhas e/ou manutenção das folhas foi maior, contribuindo de forma mais expressiva na manutenção da AF até o final do ciclo da cultura.

Ao longo do ciclo do tomateiro, a AFE foi menor com 180 kg ha⁻¹ N, e atingiu seu mínimo aos 109 DAT, quando a AFE foi 7% menor que a AFE das plantas não fertilizadas com nitrogênio (Figura 8). A partir de então, até 126 DAT verifica-se um pequeno incremento da AFE e aumento contínuo de AF e MSF (Figuras 1 e 2), porém, o aumento da MSF não ocorreu na mesma proporção de AF, indicando que neste período fica mais acentuado o transporte de fitoassimilados produzidos nas folhas para os frutos (Figura 5) (Dartora et al., 2014).

As maiores RPFs ocorreram nos períodos iniciais de crescimento devido à maior produção de folhas. No decorrer do ciclo, houve diminuição gradativa da RPF indicando a redução do incremento de MSF e do tamanho do aparelho fotossintético com o envelhecimento da planta. Aos 126 DAT, a RMF com 180 kg ha⁻¹ N foi 100%, 50% e 20% superior que às RPFs verificadas com 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ N, respectivamente (Figura 9). Tal fato caracteriza que o aumento de MSF até o final do ciclo da cultura é maior com maiores doses de N. Quando o fornecimento de N no tomateiro foi reduzido a distribuição dos fotoassimilados para produção de frutos parecer ser prioridade (Bérnad et al., 2009).

O aumento do IAF nas maiores doses de N e ao longo do ciclo do tomateiro se deveu ao aumento contínuo da AF (Figuras 1 e 10). O maior IAF aumenta a interceptação de energia solar (Heuvelink et al., 2005) que promove o aumento da produção de MSF, MSPA e MST.

Na dose de 180 kg ha⁻¹ N foi verificado o maior IAF (2,8), e também a maior produção (4,3 kg planta⁻¹) e produtividade de frutos (143 t ha⁻¹), por tanto este IAF pode ser considerado adequado para o tomate para processamento industrial. Sabendo-se que o limiar do IAF ótimo vai até a planta atingir a máxima produtividade, IAF superiores causam queda de produtividade devido ao autossobreamento e pelo excesso de gasto energético demandada na respiração que reduz o saldo de carbono na planta (Ardila et al., 2011). Em tomate Hossain et al. (2017) verificaram forte correlação do IAF com a produtividade dos frutos.

Os maiores incrementos do IAFs foram dos 56 a 98 DAT coincidindo com o período inicial de floração e frutificação. A partir de 98 DAT, na fertilização de 0 e 60 kg ha⁻¹ N, o IAF apresentou tendência de estabilização indicando que as plantas tendem a cessar a emissão de folhas e a perda de folha por senescência supera a expansão foliar, o que não foi verificado na fertilização com 120 e 180 kg ha⁻¹ N. Para as doses 0 e 180 kg ha⁻¹ N, a MSF/MSPA dos 98 a 126 DAT foi de 0,08 e 0,28, respectivamente (Tabela 1), indicando que ocorreu maior produção e manutenção de folhas, verificando-se que quanto maior a dose de N maior foi a proporção de MSF e de IAF.

5 CONCLUSÕES

O aumento no fornecimento de nitrogênio proporcionou incrementos de todos os parâmetros de crescimento do tomateiro.

Com o aumento das doses de nitrogênio a razão de área foliar, razão de peso de folha e índice de área foliar foram maiores e a taxa de crescimento relativo e área foliar específica foram menores.

6 REFERÊNCIAS

- Almanza-Merchán PJ, Arévalo YA, Cely GER, Pinzón EH, Serrano PAC (2016) Fruit growth characterization of the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) hybrid 'Ichiban' grown under cover. **Agronomía Colombiana** 34:155-162.
- Ardila GR, Fischer G, Balaguera-López HE (2011) Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) em tiempo fisiológico bajo invernadero. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas** 5:44-56.
- Azofeifa A, Moreira M A (2004) Analisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot), en Alajuela, Costa Rica. **Agronomía Costarricense** 28:57-67.
- Bénard C, Gautier H, Bourgaud F, Grasselly D, Navez B, Caris-Veyrat C, Weiss M, Génard M (2009) Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 57:4112-4123.
- BENICASA MMP (2003) **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 41.p.
- Cecílio Filho AB, Nowaki RHD (2016) Nutrição e adubação da cultura do tomate para indústria. In: Prado, RM, Cecílio Filho AB. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: FCAV/CAPE, p. 447-474.
- CEPAGRI. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_063.html> Acesso em: 15 de nov. 2015.
- Clemente FMVT, Boiteux LS (2012) **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa, 344p.
- Dartora J, Echer MM, Guimarães VF, Marini D, Pauletti DR (2014) Crescimento e produção da couve-da-Malásia submetida a adubação nitrogenada. **Scientia Agraria Paranaensis** 13:133-142.
- Elia A, Conversa G (2012) Agronomic and physiological responses of a tomato crop to nitrogen input. **European Journal of Agronomy** 40:64-74.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2013) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, p. 197-214.
- Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers H, Schjoerring J, Moller SI, White P (2012) Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. New York, p. 135-189.

Heuvelink E, Bakker MJ, Elings AR, Kaarsemaker R, Marcelis LFM (2005) Effect of leaf area on tomato yield. **Acta Horticulturae** 691:43-50.

Hossain SAAM, Wang L, Chen T, LI Z (2017) Leaf area index assessment for tomato and cucumber growing period under different water treatments. **Plant Soil and Environment** 63:461-467.

Kanter DR, Zhang X, Mauzerall DL (2015) Reducing nitrogen pollution while decreasing farmers' costs and increasing fertilizer industry profits. **Journal of Environmental Quality** 11:325-335.

Kumar M, Meena ML, Kumar S, Maji S, Kumar D. (2013) Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the growth, yield and quality of tomato var. Azad T-6. **The Asian Journal of Horticulture** 8:616-619.

Lucena RRM, Negreiros MZ, Medeiros JF, Batista TMV, Bessa ATM, Lopes WAR (2013) Acúmulo de massa seca e nutrientes pelo tomateiro 'SM-16' cultivado em solo com diferentes coberturas. **Horticultura Brasileira** 31:401-409.

Omaña, HG, Peña H (2015) Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. **Bioagro** 27:111-120.

Pietro-Souza W, Bonfim-Silva EM, Schlichting AF, Silva MC (2013) Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 17:575–580.

Raij B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

San-Martín-Hernández C, Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, Volke-Haller VH, Escalante-Estrada, JA, Sánchez-García P, Saucedo-Veloz C (2016) Nitrogen and potassium nutrition differentially affect tomato biomass and growth. **Interciencia** 41:60-66.

SAS Institute (2000) **SAS/STAT User's Guide**. version 4.0.2. SAS Institute Inc; Cary NC.

Soares BB, Rangel R (2012) Aspectos industriais da cultura. In: Clemente FMVT, Boiteux LS. **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 331-344.

Tei F, Benincasa P, Guiducci M (2002) Critical nitrogen concentration in processing tomato. **European Journal of Agronomy** 18:45-55.

Trani PE, Raij B Van. (1997). Hortaliças. In: Raij B van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, (Boletim Técnico, 100)**. 2. ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, p. 157-185.

Wira AB, Jamil ZA, Armizatul SAH (2013) Effect of varying nitrogen levels on plant sap characteristics and growth performance of tomato (*Lycopersicon esculentum* var. baccarat). **Journal of Tropical Agriculture and Food Science** 41:183-191.