

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)  
autor(a), o texto completo desta tese  
será disponibilizado somente a partir  
de 04/05/2018.

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

**MODELS FOR ESTIMATION GROWTH, YIELD AND  
NUTRIENTS CONTENT OF PROCESSING TOMATO**

**Juliana Aparecida dos Santos da Silva**

Engenheira Agrônoma

**2016**

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

**MODELS FOR ESTIMATION GROWTH, YIELD AND  
NUTRIENTS CONTENT OF PROCESSING TOMATO**

**Juliana Aparecida dos Santos da Silva**

**Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho**

**Coorientador: Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de  
Jaboticabal, como parte das exigências para  
a obtenção do título de Doutora em  
Agronomia (Produção Vegetal)**

**2016**

S586m Silva, Juliana Aparecida dos Santos da  
Models for estimation growth, yield and nutrients content of  
processing tomato / Juliana Aparecida dos Santos da Silva. – –  
Jaboticabal, 2016  
vi, 82 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016

Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho

Banca examinadora: Renato de Mello Prado, José Ricardo  
Mantovani, Jairo Osvaldo Cazetta, Adriano Bortolotti da Silva  
Bibliografia

1. Horticultura. 2. Modelagem de culturas. 3. Tomate. I. Título. II.  
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631,811:635,64

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

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: MODELS FOR ESTIMATION GROWTH, YIELD AND NUTRIENTS CONTENT  
OF PROCESSING TOMATO**

**AUTORA: JULIANA APARECIDA DOS SANTOS DA SILVA**

**ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO**

**COORDENADOR: GLAUCO DE SOUZA ROLIM**

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

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

  
Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. JOSÉ RICARDO MANTOVANI  
Instituto de Ciências Agrárias / UNIFENAS - Alfenas/MG

  
Prof. Dr. JAIRO OSVALDO CAZETTA  
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. ADRIANO BORTOLOTTI DA SILVA  
Instituto de Ciências Agrárias / UNIFENAS - Alfenas, MG

Jaboticabal, 04 de novembro de 2016.

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

**JULIANA APARECIDA DOS SANTOS DA SILVA** – Nasceu em 24 de junho de 1985, na cidade de São Lourenço – MG. Concluiu o curso de graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), na cidade de Alfenas – MG em dezembro de 2009, onde além das atividades curriculares desenvolveu trabalhos como estagiária e bolsista de iniciação científica (PIBIC) pelo CNPq no laboratório de Biotecnologia Vegetal. Em agosto de 2010, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP) de Jaboticabal – SP, com bolsa concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (processo 153437/2010-3) e conclusão em novembro de 2012. Em março de 2013, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP) de Jaboticabal – SP, com bolsa da Capes (Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior). Realizou doutorado sanduíche pelo programa PSDE-Capes (processo 000658/2015-04) na Universidade da Flórida em Gainesville - FL no período de 01/05/2015 à 31/01/2016. Concluiu o doutorado em novembro de 2016.

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais Aristeu e Maria Lúcia, pelo amor e confiança sempre depositados e por estarem sempre presentes nas horas difíceis.

À minha irmã Ana e meus sobrinhos: Bárbara, Nina e Samuel, pois a família é a maior riqueza e alegria que podemos ter.

Ao meu namorado Alúcio, pelo companheirismo e pela força dada todos os dias.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

À Deus por me dar força e me manter perseverante para concluir o doutorado.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV/UNESP) pela infraestrutura, aos professores do curso de pós-graduação pelo aperfeiçoamento profissional e ao Programa de Agronomia (Produção Vegetal) pela bolsa de estudos.

À Predilecta Alimentos, pelos auxílios e por ceder as áreas onde foram instalados os experimentos.

Aos Profs. Drs. Arthur Bernardes Cecílio, Glauco de Souza Rolim e Kenneth J. Boote pela orientação, confiança, amizade.

Aos membros da banca examinadora do Exame Geral de Qualificação: Dr. Rogério Teixeira de Faria, Dra. Priscila L. Gratão e Dra Mara Cristina Pessôa da Cruz; e da banca de Defesa: Dr. José Ricardo Mantovani, Dr. Adriano Bortolotti da Silva, Dr. Jairo Osvaldo Cazetta e Dr. Renato de Mello Prado, pela participação e contribuição no enriquecimento deste trabalho.

Aos funcionários da horta didática e da estação agroclimatológica, em especial ao Carlos Alberto, pela atenção, colaboração e ajuda sempre que requisitada.

***“A todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para o desenvolvimento e realização deste trabalho”***

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS



## SUMMARY

## Page

|                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ABSTRACT .....                                                                                                       | iii |
| RESUMO.....                                                                                                          | v   |
| Introduction .....                                                                                                   | 1   |
| Literature review.....                                                                                               | 2   |
| Processing tomato .....                                                                                              | 2   |
| Crop modeling.....                                                                                                   | 3   |
| REFERENCES .....                                                                                                     | 6   |
| CHAPTER 2 - Adapting the CROPGRO-Tomato Model for Response to Phosphorus Fertilization in Tropical Conditions* ..... | 9   |
| Abstract.....                                                                                                        | 9   |
| 1. Introduction .....                                                                                                | 9   |
| 2. Materials and Methods .....                                                                                       | 11  |
| 2.1 Experiments for model calibration and testing.....                                                               | 11  |
| 2.2 Model input data .....                                                                                           | 14  |
| 2.3 Calibration of cultivar .....                                                                                    | 15  |
| 2.4 Model description.....                                                                                           | 17  |
| 2.5 Calibration of parameters in species file.....                                                                   | 17  |
| 2.6 Statistical Evaluation.....                                                                                      | 20  |
| 3. Results and Discussion.....                                                                                       | 21  |
| 3.1 Growth and production parameters.....                                                                            | 21  |
| 3.2 . Leaf area index (LAI) and nitrogen concentration in vegetative tissues .....                                   | 29  |
| 3.3 Plant P concentration in shoot and fruit.....                                                                    | 32  |
| Conclusions .....                                                                                                    | 36  |
| References.....                                                                                                      | 37  |
| CHAPTER 3 -Methods for Estimating Leaf Area Index of Processing Tomato* .....                                        | 42  |
| Abstract.....                                                                                                        | 42  |
| 1. Introduction .....                                                                                                | 43  |
| 2. Materials and Methods.....                                                                                        | 45  |
| 3. Results and Discussion.....                                                                                       | 49  |
| Conclusions .....                                                                                                    | 58  |
| References.....                                                                                                      | 58  |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| CHAPTER 4 - Accumulation of biomass and nutrients by processing tomato* ..... | 63 |
| Abstract.....                                                                 | 63 |
| Introduction .....                                                            | 63 |
| Material and Methods.....                                                     | 64 |
| Results and Discussion.....                                                   | 66 |
| Conclusion .....                                                              | 79 |
| References.....                                                               | 79 |

## MODELS FOR ESTIMATION GROWTH, YIELD AND NUTRIENTS CONTENT OF PROCESSING TOMATO

**ABSTRACT** - In this work were discussed processes related to development and growth of processing tomato. The experiments were conducted in the years 2013 and 2014 in three different areas in the city of Guaíra-SP. In chapter 1 the objective was to calibrate and test the CROPGRO-Tomato model with data of five field experiments with processing tomato under different phosphorus concentrations in the soil. The treatments of experiments for calibration were for the area 1: 0, 150, 300, 450, 600 and 750 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and for the areas two and three: 0, 200, 400, 600, 800 and 1000 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, in randomized block design with four replications. The experiments for testing the model 450 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> was applied. In each 15 days after transplanting (DAT) plants were collected for measuring biomass and leaf area. At the end of crop cycle plants were collected for evaluation of production. All data collected were used for calibration and testing of CROPGRO-Tomato model. The model was accurate (average *d* index = 0.91, average RRMSE = 0.24) to simulate response of processing tomato to different soil P concentrations. The objective of Experiment 2 was to estimate the leaf area index (LAI) of processing tomato using data obtained by destructive and non-destructive methods, meteorological data and number of leaves (NL). For Experiment 2 the methods of measuring leaf area were Li-Cor (destructive), ImageJ and Canopeo (digital images). Also for estimation of LAI it were used sum of degree-days ( $\Sigma DD$ ), global radiation ( $Q_g$ ) and number of leaves (NL). Photographs were taken at random, in two different areas at 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, DAT 120 using a 1m<sup>2</sup> square frame placed over the plants. Photographs were taken in 24 different points, in each point it was collected one plant for leaf area measurement using Li-Cor and leaves counting. LAI estimation using Canopeo and NL were the most accurated with RMSE=0.4, *es*= 0.7,  $R^2$ = 0.93 and RMSE = 0.2, *se* = 0.7 and  $R^2$  = 0.92, respectively. It is possible to estimate LAI of processing tomato using non-destructive and low cost methods. The objective of Experiment 3 was to characterize the accumulation of biomass and nutrients in processing tomatoes grown in high and low fertility soils. Plants were collected in four replications (3 plants per replication), every ten days (30 to 120 DAT). After cleaned and dried the material was used to determine nutrient content and biomass. Data were adjusted to

polynomial regressions. The decreasing order of nutrient accumulation was K, N, Ca, P, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn in HF; and K, N, Ca, P, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn in LF. Tomato plants grown in HF and LF soils, however fertilized in the same manner, have similar potential of biomass producing.

**Keywords** - Crop modeling, plant nutrition, biomass, leaf area

## MODELOS PARA ESTIMAR CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E TEORES DE NUTRIENTES DO TOMATE INDUSTRIAL

**RESUMO** - Neste trabalho foram estudados processos relacionados ao desenvolvimento e crescimento do tomate industrial. Os experimentos foram conduzidos nos anos 2013 e 2014 em três áreas diferentes da cidade de Guaíra-SP. No capítulo 1, objetivou-se calibrar e testar o modelo CROPGRO-Tomate com dados de cinco experimentos de campo com tomate industrial sob diferentes concentrações de fósforo no solo. Os tratamentos dos experimentos para calibração foram para a área 1: 0, 150, 300, 450, 600 e 750 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e para as áreas dois e três: 0, 200, 400, 600, 800 e 1000 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Nos experimentos para testar o modelo foi aplicado 450 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A cada 15 dias após o transplante (DAT) plantas foram recolhidas para a medição de biomassa e área foliar. No final do ciclo de cultivo foram coletadas plantas para avaliação da produção. Todos os dados coletados foram utilizados para calibração e teste do modelo CROPGRO-Tomate. O modelo foi acurado (índice *d* médio = 0,91 e RRMSE médio = 0,24) para simular a resposta do tomate industrial à diferentes concentrações de P no solo. O objetivo do experimento 2 foi estimar o índice de área foliar (LAI) do tomate industrial utilizando dados obtidos por métodos destrutivos e não destrutivos, dados meteorológicos e número de folhas (NL). Os métodos de medição da área foliar foram Li-Cor (destrutivo), ImageJ e Canopeo (imagens digitais). Também para a estimativa de LAI foram utilizadas soma de grau-dias ( $\Sigma DD$ ), radiação global ( $Q_g$ ) e número de folhas (NL). As fotografias foram tiradas aleatoriamente, em duas áreas diferentes a 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 DAT utilizando um quadro vazado de 1 m<sup>2</sup> de área colocado sobre as plantas. As fotografias foram tiradas em 24 pontos diferentes, em cada ponto foi coletada uma planta para medição da área foliar usando Li-Cor e contagem de folhas. As estimativas LAI usando Canopeo e NL foram mais acuradas com RMSE = 0,4, se = 0,7 e R<sup>2</sup> = 0,93; e RMSE = 0,2, se = 0,7 e R<sup>2</sup> = 0,92, respectivamente. É possível estimar o IAF de processamento de tomate usando métodos não destrutivos e de baixo custo. O objetivo do experimento 3 foi caracterizar a acumulação de biomassa e nutrientes pelo tomate industrial cultivado em solos de alta (HF) e baixa fertilidade (LF). As plantas foram coletadas em quatro

repetições (3 plantas por replicação) a cada dez dias (30 a 120 DAT). Depois de limpo e seco, o material foi utilizado para determinar o teor de nutrientes e a biomassa. Os dados foram ajustados a regressões polinomiais. A ordem decrescente de acúmulo de nutrientes foi K, N, Ca, P, Mg, S, Fe, Cu, Mn e Zn em HF; e K, N, Ca, P, Mg, S, Fe, Mn, Cu e Zn em LF. As plantas de tomate cultivadas em solos HF e LF, porém fertilizadas da mesma maneira, têm potencial similar de produção de biomassa.

**Palavras-chave** - Modelagem de culturas, nutrição de plantas, biomassa, área foliar

## CHAPTER 1 - GENERAL CONSIDERATIONS

### Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum*) is one of vegetable with higher consumption and higher economical importance in the world. It is the second most produced vegetable in the world (FAOSTAT, 2013), and also has the highest area under cultivation among all vegetables (Nangare et al., 2016). The consumption of tomato, either fresh or processed, has increased continuously in the last two decades (Lahoz et al., 2016).

Brazil is among the ten largest producers of tomato in the world, with production up to 4 million tons, this statistic shows the economic importance of this vegetable for the country (FAOSTAT, 2013). In this scenario, the production of processing tomato has increased significantly in recent years. According to estimative by the World Processing Tomato Council - WPTC, Brazilian production of processing tomato is expected to reach 1.35 million tons in 2016, keeping the country in the seventh position of the largest producers (WPTC, 2016).

Due the economical importance of this crop, mathematical models are often used to simulate development and growth of tomato in different environments or managements in order to support decisions and improve production. The advantage in using mathematical models in agronomy is the possibility of simulating the responses of crops to different environmental conditions using determined database, with low cost in reduced time (Naab et al., 2015).

The objective of this study was to use mathematical models, in different approaches to estimate and evaluate the aspects related to development and growth of processing tomato in order to improve understanding of factors related to production such as plant nutrition, soil fertility, leaf area, and accumulation of biomass and nutrients by plants.