

# MONITORAMENTO E CONTROLE DE UMA ESTUFA PARA CULTIVO ABRIGADO DE TOMATES

Danielle Costa Brito<sup>1</sup>, Carine Ramos Gottschall<sup>1</sup>, Romualdo Teixeira Cunha<sup>1</sup>, Wilton Lacerda Silva<sup>1</sup>

danibrito@face@hotmail.com; carinegottschall@gmail.com; romoaguia@gmail.com; wiltonlacerda@gmail.com

<sup>1</sup> INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA  
Vitória da Conquista – Bahia

Categoria: ARTIGO SUPERIOR

**Resumo:** O cultivo abrigado do tomate em estufas é de grande importância para seu crescimento e desenvolvimento adequado, ao conservar suas propriedades de acordo aos parâmetros de qualidade. Para isso as estufas necessitam de um monitoramento e controle de temperatura, umidade e luminosidade eficientes para que a climatização do ambiente também o seja. O sistema construído é aplicado a temperaturas controladas para a faixa de 16°C a 29°C e também disponibiliza a possibilidade de controle de umidade e luminosidade, de acordo com os valores encontrados na bibliografia consultada. Assim, neste trabalho foi construído todo o hardware necessário para o monitoramento e controle das variáveis: umidade, temperatura e luminosidade. O software foi embarcado em um sistema microcontrolado, o qual permite o interfaceamento com todos os sensores e atuadores necessários para o desenvolvimento deste protótipo, bem como, fornece a possibilidade de comunicação com outros sistemas microprocessados.

**Palavras Chaves:** Estufa, tomate, monitoramento, controle.

**Abstract:** *Tomato cultivation in greenhouses is of great importance for its adequate growth and development, preserving its properties according to quality parameters. For this, the greenhouses need an efficient monitoring and control of temperature, humidity and luminosity so that the climate of the environment is also. The built system is applied at controlled temperatures in the range of 16°C to 29°C and also offers the possibility of controlling humidity and luminosity, according to the values found in the bibliography consulted. Thus, in this work all the necessary hardware for the monitoring and control of the variables were constructed: humidity, temperature and luminosity. The software was shipped in a microcontrolled system, which allows the interface with all sensors and actuators necessary for the development of this prototype, in addition to enabling communication with other microprocessed systems.*

**Keywords:** *Greenhouse, tomato, monitoring, control.*

## 1 INTRODUÇÃO

O clima é um fator primordial que influencia a produção agrícola. No verão, as chuvas demasiadas danificam as plantas e criam condições favoráveis para o aparecimento de doenças, atrapalhando a produção, sendo a época de maiores preços dos produtos hortícolas pela falta de oferta para abastecimento. Por outro lado, o frio e os ventos, do inverno prolongam o ciclo dessas culturas, que conseqüentemente desprogramam a produção e causam grandes prejuízos econômicos [Miura, 2011].

Sendo assim, uma alternativa viável para esse problema é a utilização de estufas, de acordo com Resende [2013] as estufas são importantes para a produção de algumas hortaliças, mantendo constante a produção hortícola em todas as épocas do ano. Além disso, as estufas proporcionam produtos de maior qualidade, padronizados e o aumento da produtividade.

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a produção mundial de tomates em 2014 foi de 170,7 milhões de toneladas. A China foi o maior produtor mundial de tomates no ano com 52,5 milhões de toneladas, e representa 31% da produção mundial. Com uma produção de 4,3 milhões de toneladas, o Brasil foi o oitavo produtor mundial, correspondendo a 3% da produção mundial. Numa área cultivada, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [2017], de aproximadamente 65 mil hectares.

O tomateiro é a segunda hortaliça em importância econômica no Brasil [IBGE, 2007] e também uma das mais importantes no mundo [Agrianual, 2007], isso pode ser justificado pelo fato do tomate possuir diversos tipos de derivados. Entre 2007 a 2011, a produção de tomate no Brasil aumentou aproximadamente 28% [FAO, 2013].

O objetivo do presente artigo é a construção de uma mini estufa automatizada para o cultivo de tomates capaz de realizar o controle de importantes fatores na criação de plantas, tais como: temperatura, luminosidade, umidade e a ventilação. Este artigo encontra-se organizado da seguinte forma: seção 2 apresenta o referencial teórico que contempla o cultivo em estufas, o cultivo do tomate e as principais variáveis de controle. A seção 3 descreve o trabalho proposto com a construção do protótipo e as ferramentas e metodologias utilizadas. Os resultados são apresentados na seção 4 e as conclusões são apresentadas na seção 5.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cultivo em estufas

As estufas são definidas como uma estrutura de proteção ao cultivo de plantas com elevado grau de controle do seu ambiente interno. No Brasil, seu uso limita-se quase exclusivamente ao “efeito guarda-chuva” [Bliska, 2011].

Para além, o cultivo em ambiente protegido é um sistema de produção agrícola especializado, que possibilita certo controle das condições edafoclimáticas, como temperatura, umidade do ar, radiação, solo, vento e composição atmosférica. Dessa forma,

não pode ser negligenciado o planejamento da produção, dos custos e do mercado para que possa ser uma ferramenta de alta eficiência [Figueiredo, 2011].

A principal finalidade de se conduzir uma cultura em ambiente protegido é a obtenção de colheitas nas épocas em que as cotações dos produtos são mais elevadas, o que, normalmente, coincide com a menor oferta do produto no mercado. Esta menor oferta, por sua vez, muitas vezes é consequência da maior dificuldade de se produzir em locais ou épocas cujas condições climáticas são desfavoráveis ao cultivo pelo sistema convencional, ou seja, a céu aberto [Makishima e Carrijo, 1998].

No caso específico do tomate, segundo Martins [1984] seu cultivo em ambiente protegido oferece frutos de excelente qualidade, com menores perdas e aumento da produção na entressafra, o que traz maior estabilidade de oferta durante o ano.

## 2.2 Fatores importantes para o desenvolvimento do tomateiro

O tomateiro é originário da América do Sul, na região compreendida entre o Equador e o norte do Chile, onde as temperaturas são moderadas (médias de 15 °C a 19 °C), sendo encontrado na forma silvestre ou cultivado, desde o nível do mar até 2.000 m de altitude [Lopes e Stripari, 1997]. Portanto, para a boa produtividade do tomate em ambiente protegido é importante que consiga controlar três fatores que influenciam diretamente, são eles a temperatura, a luminosidade e a umidade.

### 2.2.1 Temperatura

A maioria dos trabalhos indica que a faixa de temperatura mínima para germinação da semente de tomateiro é de 8 a 11 °C, sendo que a faixa de temperatura ótima para germinação situa-se entre 16 e 29 °C, como pode ser observado na Tabela 1.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) [2006], embora as condições mais favoráveis para o tomateiro estejam na faixa de 16 a 29°C, a planta pode tolerar uma amplitude de 10 a 34°C. Sendo que temperaturas inferiores a 13 °C retardam o crescimento, enquanto que acima de 35 °C afetam a frutificação e o desenvolvimento dos frutos. Em temperaturas médias superiores a 28 °C, formam-se frutos com coloração amarelada, o que não é interessante. Em temperaturas noturnas próximas a 32 °C ocorre o abortamento de flores, mau desenvolvimento dos frutos, formação de frutos ocos e rachaduras. Além disso, a produção de pólen é afetada tanto por temperaturas altas (> 40 °C) quanto por temperaturas baixas (< 10 °C). Sendo assim, a temperatura deve ser mantida próxima das condições ideais, para que ocorra uma boa polinização e alta taxa de pegamento dos frutos.

**Tabela 1 - Temperaturas para os diferentes estádios de desenvolvimento do tomateiro.**

Estádio de desenvolvimento	Temperatura (° C)		
	Mínima	Ótima	Máxima
Germinação	11	16 a 29	34
Crescimento vegetativo	18	21 a 24	32
Pegamento de frutos (noite)	10	14 a 17	20
Pegamento de frutos (dia)	18	19 a 24	30
Desenvolvimento da cor avermelhada	10	20 a 24	30
Desenvolvimento da cor amarelada	10	21 a 32	40

Fonte - Geisenberg & Stewart [1986].

### 2.2.2 Luminosidade

A luz é de suma importância para o cultivo de plantas. Ela é a principal responsável pelo processo de fotossíntese. Basicamente, a luz ativa a fotossíntese, participando de sua primeira fase. Embora a luz seja vital para todas as plantas, seu excesso pode prejudicar e até matar o vegetal, sendo que cada tipo de cultivo requer uma quantidade de luz particular.

De acordo Makishima e Carrijo [1998] o tomateiro é considerado indiferente ao fotoperíodo, no entanto, a baixa intensidade luminosa pode reduzir a produtividade. Eles ainda citam o fato de que a cobertura plástica reduz a luminosidade em 20 a 40%, e que em locais com baixa radiação pode representar um problema em potencial. Ainda é importante citar que a pouca luminosidade prolonga a fase vegetativa do tomateiro, retardando a produção. Por outro lado, alta luminosidade antecipa o início da frutificação, por isso o controle da intensidade luminosa é tão importante.

### 2.2.3 Umidade

A alta umidade relativa do ar no interior das estruturas favorece o aparecimento de doenças e provoca menor desenvolvimento das plantas, resultado da menor transpiração e menor absorção de água e nutrientes. No entanto, a baixa umidade relativa do ar e ocorrência de altas temperaturas provoca o aumento da transpiração, fechamento dos estômatos, redução da taxa de transpiração e abortamento das flores devido a uma polinização deficiente [Lopes e Stripari, 1997]. A umidade relativa do ar no interior das estruturas deve ser mantida entre 50 e 70% para redução dos problemas fitossanitários e aumento da produtividade.

Além disso, Reisser Junior [2015] afirma que manejo correto da estufa envolve retirar a umidade de seu interior por meio da ventilação. Nesse caso, pode ser feito através de ventilação forçada ou natural. De toda forma, a indicação mais simples do manejo é ventilar o máximo possível o interior.

## 3 O TRABALHO PROPOSTO

Para o controle dos parâmetros citados acima, foi necessária a automatização da estufa. Sendo assim, foram utilizados sensores e atuadores. Os sensores são componentes que tem a capacidade

de captar determinada grandeza física e conseguir traduzir em outra grandeza [Borges e Dores, 2010]. Eles atuam transformando partes de uma grandeza física normalmente em um sinal elétrico, que por sua vez pode ser interpretado por certos equipamentos eletrônicos. “Não importa o que tentarmos medir, sempre haverá transferência de energia entre o objeto medido e o sensor.” [Balbinot, 2012].

O projeto desenvolvimento foi elaborado em uma maquete de pequena escala para simular uma estufa para cultivo abrigado de tomates. A maquete foi feita utilizando um recipiente fechado de plástico com 12 litros de volume, no qual foram dispostos os sensores, os atuadores e a unidade de controle. Os sensores instalados permitiram monitorar a temperatura interna e externa à estufa, além da umidade do e luminosidade do ambiente. Para monitorar a temperatura externa foi utilizado o LM35, cuja precisão varia de 0,50°C para temperaturas em torno de 25°C e 0,75°C para outros valores. Ele apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura e uma saída de sinal variável de 10mV para cada grau Celsius de temperatura. Já para verificar a temperatura interna foi utilizado o DHT11, o qual também é responsável pelo monitoramento da umidade do ar presente estufa. Ele possui faixa de medição de temperatura de 0°C a 50°C, com uma precisão de mais ou menos 2°C e, a faixa de medição para a umidade de 20 a 90%.

O monitoramento da luminosidade incidente sobre a estufa foi feito aplicando um condicionamento de sinal através de um divisor de tensão composto por uma foto resistência, *Light Dependent Resistors* (LDR), e um resistor fixo de 10kΩ. Ele possui t expressão resistiva baixa com a presença de luz na sua superfície e na sua ausência um aumento resistivo muito grande. O sensor foi disposto no teto, externo ao ambiente do recipiente.

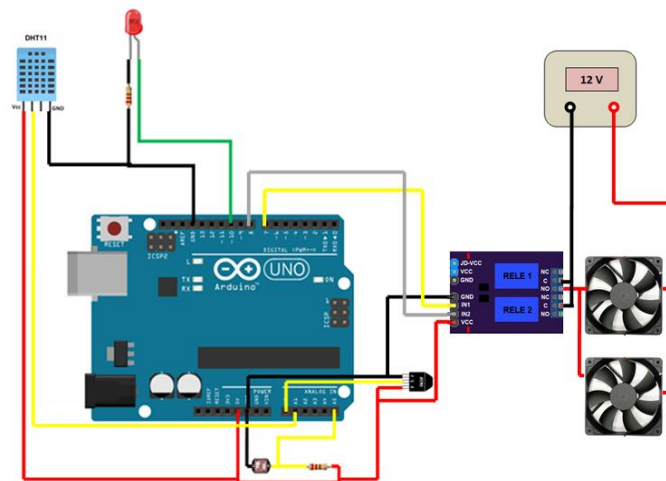
Para exercer o controle sobre as variáveis monitoradas foram utilizados diferentes atuadores, os quais são dispositivos “[...] com a função inversa de um sensor; geralmente convertem energia elétrica em outra forma de energia” [Balbinot, 2012]. O controle de temperatura interna da estufa se deu através da utilização de dois coolers de 12V. Eles produzem fluxo de ar, sem estar propriamente refrigerando, no entanto com as correntes de convecção é possível retirar o calor do ambiente que se deseja. Os coolers foram dispostos acima do recipiente fechado e, sob o qual foram feitos buracos no intuito de permitir a troca de ar do ambiente externo com o ambiente interno. Assim, um dos elementos foi disposto com as pás no sentido de permitir a expulsão do ar quente interno e o outro de modo a refrigerar o ambiente. O sistema de refrigeração é acionado através do módulo relé de dois canais que, por sua vez, é acionado pelo microcontrolador quando a temperatura interna da estufa é superior a 29 °C e a temperatura externa da estufa é menor que a temperatura interna da mesma.

Para o controle de luminosidade foi utilizado o *Light Emitting Diode* (LED), cuja principal aplicação que é emitir luz, sendo que ao ser energizado resulta na emissão de uma estreita faixa de ondas eletromagnéticas referente ao comprimento de luz visível do espectro. “Um LED é um dispositivo de estado sólido e não requer o aquecimento de um filamento para gerar luz” [Soloman, 2012], dessa forma seu acionamento não implica na elevação de temperatura da estufa. Assim, foram dispostos cinco LED’s, sendo quatro na cor vermelha e um de alto brilho na cor azul, no teto da estufa. A atuação dos LED’s ocorre para um valor luminosidade semelhante ao do momento do pôr do sol. O controle de luminosidade dos mesmos é ajustado através de modulação por largura de pulso (PWM) mediante uma saída

digital da plataforma Arduino como descrito pela Equação 1 [Nise, 2012].

$$DutyCycle = 100 \times \frac{Largura\ do\ Pulso}{Período} \quad (1)$$

A modulação foi feita por meio do mapeamento do range oferecido pelo conversor analógico/digital de 10 bits em correspondência com uma saída digital PWM de 8 bits. Assim, permite o aumento gradual de luminosidade interna da estufa a medida que a luminosidade interna é cessada. A Figura 1 mostra o diagrama esquemático dos sensores e atuadores a unidade de controle.



**Figura 1 - Diagrama esquemático de ligação dos sistemas de monitoramento e controle da estufa.**

O diagrama esquemático representado dispõe de apenas um LED, enquanto no protótipo foram utilizados cinco deles, dispostos nas demais saídas PWM disponíveis no Arduino, são elas os pinos 9, 6 e 5.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho desenvolvido foi submetido a metodologia de testes de acionamentos dos atuadores em função dos valores captados pelos os sensores. Foram feitos testes para a lógica de comando e funcionamento do sistema dos coolers e dos LED’s. Por não ter sido viável a utilização de uma fonte de água, inicialmente, não foi acoplada a válvula solenoide. Assim sendo, foi analisado o chaveamento do relé referente, relé de número 2, no entanto, a adição de água no interior foi feita de forma manual no período de experimentos.

Como a temperatura ideal para o tomateiro fica na faixa de 16°C a 29°C, os *coolers* serão acionados caso a temperatura interna da estufa esteja maior que 29°C, considerando que a temperatura externa não esteja superior a esta faixa. O relé condizente a válvula solenoide será acionado caso a umidade esteja abaixo de 50%, respeitando a umidade indicada para o plantio do tomateiro que deve ser de 50% a 70%. Os LED’s efetuaram o controle de luminosidade, em função da captação de luz pelo sensor LDR, atingindo o seu brilho máximo quando o sensor está sob condições de escuridão.

O grupo realizou os testes de forma direta, analisando os valores das variáveis apresentadas na plataforma do *software* do Arduino, em conjunto com a conferência do acionamento dos atuadores. Foram realizados dois testes para cada variável controlada. Para os testes de controle de temperatura o ambiente interno foi aquecido para uma temperatura acima de 29°C para

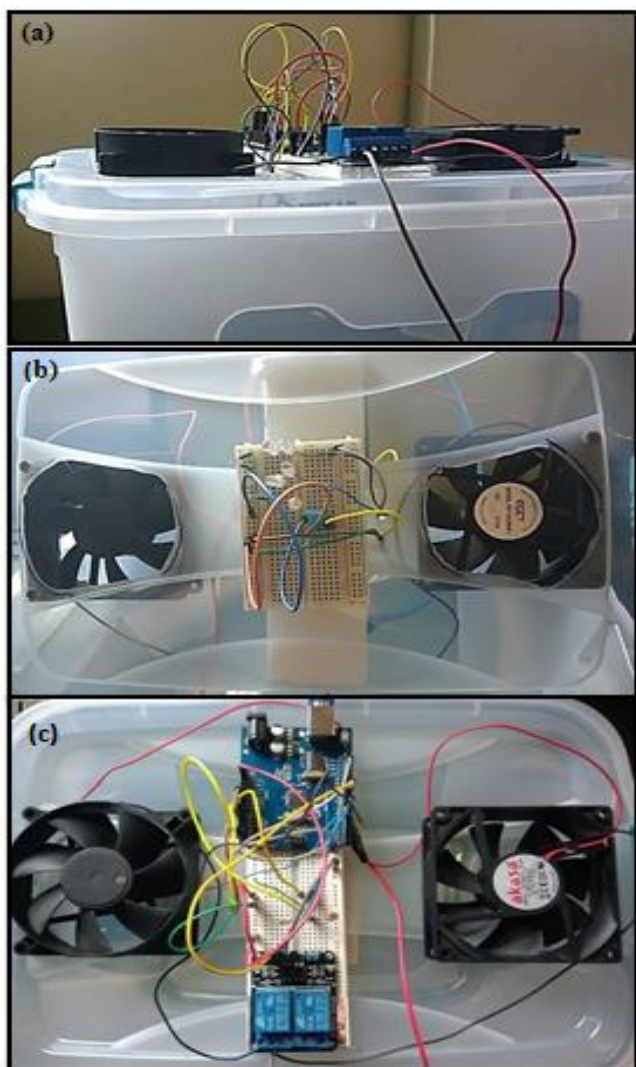


valores de temperatura do ambiente externo inferiores e superiores aos 29°C.

Para testar a atuação do relé para correção de umidade foram salpicadas gotículas através das pás do *cooler* que insere o ar na estufa, para umidificar o sistema. O processo de desumidificação ocorreu pela atuação do *cooler* responsável por expelir as massas de ar interna a estufa e foi observado a reação do sistema de controle de umidade. Os testes do sistema de controle de iluminação foram realizados a partir do momento do entardecer, para captação da iluminação natural do ambiente e pela aproximação e afastamento de um pano preto do LDR para perceber a influência da variação de luminosidade externa na intensidade de brilho dos LEDs.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto em seu estado finalizado está demonstrado na Figura 2, onde é apresentado a vista lateral externa na Figura 2 (a), podendo ser visto a sua dimensão externa, nas imagens das Figuras 2 (b) e (c) temos a demonstração do circuito acoplado a superfície da tampa do conjunto da estufa, onde foi idealizado que toda a parte do sistema correspondente aos circuitos com seus atuadores fossem acoplados da forma mais prática para o manuseio do cultivo. É possível observar que os coolers estão posicionados de tal forma que um deles insere o ar para o ambiente interno da estufa enquanto o outro retirar o ar interno para o ambiente externo.



**Figura 2 - Protótipo de estufa microcontrolada: (a) vista lateral externa; (b) vista parte interna do teto; (c) vista externa do teto da estufa.**

Os resultados obtidos estão descritos pela Tabela 2, onde tem as seguintes definições: TI (temperatura interna), TE (Temperatura Externa),  $\Delta T$  (Faixa de temperatura desejada entre 16°C e 29°C), UI (Umidade Interna), AL (Ausência de Luz), PL (Presença de Luz) e ML (Muita Luz).

**Tabela 2 - Resultados da ação dos atuadores em função das condições de temperatura, umidade e luminosidade.**

Condições	Estado Dos Atuadores
$TI < \Delta T < TE$	Coolers ligados
$(TI = \Delta T) \text{ e } (TI < TE)$	Coolers desligados
$(TI = \Delta T) \text{ e } (TI > TE)$	Coolers desligados
$(TI > \Delta T) \text{ e } (TI > TE)$	Coolers ligados
$(TI > \Delta T) \text{ e } (TI < TE)$	Coolers desligados
$UI < 60\%$	Relé ativado
$60\% < UI < 75\%$	Relé desativado
$75\% < UI$	Relé desativado
AL	Leds com brilho máximo
PL	Leds ligados
ML	Leds desligados

## 6 CONCLUSÕES

A construção de todo o sistema da estufa foi fundamentada em relação ao cultivo de tomate, a qual não necessitou exercer métodos de calibração dos sensores de maior importância devido eles já fornecem uma saída digitalizada em função do seu auto ajuste. A calibração foi necessária apenas para o fotoreistor, no entanto devido a lógica aplicada no funcionamento para o cultivo ele precisou apenas detectar a ausência muito significativa de luz, evitando assim um trabalho acentuando em sua calibração.

O funcionamento da estufa se apresentou coerente ao controle implementado para o cultivo da espécie. Os atuadores responderam conseguindo modificar as variáveis de temperatura, luminosidade e umidade interna, porém é necessário aplicar o projeto em um período tempo coincidente ao cultivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrianual. (2007). *Anuário de Agricultura Brasileira*. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio. p 397.
- Albuquerque, C. (2014). Lâmpadas de LED aumentam produção de mini tomates. *Agência USP de Notícias*. [online] Piracicaba: ESALQ. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=189464>> Acesso em: 10 Ago. 2018.

- Andriolo, J.L.; Duarte, T.S.; Ludke L. and Skrebsky, E.C. (1999). *Caracterização e avaliação de substratos para o cultivo do tomateiro fora do solo*. Horticultura Brasileira 17: 215-219.
- Balbinot, A. e Brusamarello, V.J. (2012). *Instrumentação e Fundamentos de Medidas*. – [Reimpr]. Rio de Janeiro: LTC, Vol.1, 2.ed., p 385.
- Bliska, A. Manejo de Ambientes Protegidos: Estufas e Casas de Vegetação. *Casa da Agricultura*. ano 14, n. 2, p. 20 – 21, jun. 2011.
- Borges, L. P. e Dores, R. C. (2010). Automação predial sem fio utilizando bacnet/zigbee com foco em economia de energia. 2010, 76p. *Trabalho de conclusão de curso – Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação – UNB, Brasília*.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2003). *Cultivo de Tomate para Industrialização*. Disponível em: <[https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial\\_2ed/clima.htm](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/clima.htm)>. Acesso em: 13 Ago. 2018.
- Figueiredo, G. (2011). CASA DA AGRICULTURA: Produção em Ambiente Protegido. Campinas, São Paulo: CATI, ano 14, No. 2, pp.10.
- Fontes P.C.R. and Silva D.J.H. (2002). Fatores climáticos. In: FONTES PCR (ed). *Produção de tomate de mesa*. Viçosa: Editora Aprenda Fácil. pp. 23-25
- Geisenberg, C. e Stewart, K. (1986). Field crop management. In: Atherton, J.G, Rudich, J. (1986). ed. *The tomato crop: a scientific basis for improvement*. London: Chapman & Hall, pp.511–557.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2007). *Produção Agrícola municipal*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl>>. Acesso em: 13 Ago. 2018.
- Makishima, N. e Carrijo, O. A. (1998). Cultivo protegido do tomateiro. Brasília: Embrapa CNPH. *Circular Técnica da Embrapa Hortaliças*, 13. p.18
- Martins, G. (1984). A produção de tomate em casa de vegetação no Amazonas. [Relatório de pesquisa]. Piracicaba: FEALQ. 55 p.
- Miura, M. (2011). Análise Econômica do Cultivo em Ambiente Protegido. *Casa da Agricultura*. ano 14, No. 2, pp. 28.
- Nise, N. S. (2012). *Engenharia de Sistemas de Controle*. Editora LTC, 6 ed.
- .Reisser Junior, C. (2015). *Campo & Negócios Hortifruti*. Uberlândia, n. 123, pp. 36-39.
- Soloman, S. (2012). *Sensores e sistemas de controle na indústria*. Tradução e revisão técnica Sérgio Gilbbero Taboada - LTC, Rio de Janeiro.