

SIMULAÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DE UMA CASA DE VEGETAÇÃO EM SITUAÇÃO CRÍTICA DE VERÃO

PÂMELA SANTAGUITA BETIN¹, WILLIAM MARTINS VICENTE²

1 Mestranda em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, (11)97592-1754, pamelabetin.psb@gmail.com

2 Engenheiro Mecânico, Prof. Doutor, FEAGRI – UNICAMP, (19) 3521-1056, william.vicente@unicamp.br

Apresentado no

XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: As casas de vegetação mais modernas utilizam o controle automatizado das variáveis climáticas, o que pode contribuir para a melhoria da qualidade e produtividade, a redução das perdas e de custos, facilitando o trabalho do produtor e aumentando sua competitividade no mercado. O presente trabalho tem por objetivo realizar a simulação e o controle de alguns parâmetros referentes às variáveis climáticas dentro de uma casa de vegetação (temperatura - T e umidade relativa - UR) a partir das variáveis externas e o acionamento dos mecanismos de atuação, utilizando-se da teoria de controle aplicado e os softwares *MatLab*® e *SimuLink*®. O controlador escolhido foi do tipo On/Off para o acionamento da bomba d'água e dos exaustores. As simulações das condições internas de T e UR foram realizadas a partir dos balanços de energia e de massa, tendo como entradas as condições externas e as características construtivas da casa de vegetação. O sistema de controle escolhido se mostrou eficiente, tendo em vista que a cultura do tomateiro permite uma faixa de valores para a T e UR ideal. Entretanto, os atuadores em algumas situações, não foram suficientes para manter a faixa de temperatura ideal, sendo necessário, outros mecanismos de atuação. Em geral, o sistema de controle na simulação agiu de forma satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: sistema de controle, tomateiro, ambiência vegetal.

SIMULATION AND CONTROL OF TEMPERATURE AND RELATIVE MOISTURE OF A VEGETATION HOUSE IN SUMMER CRITICAL SITUATION

ABSTRACT: Modern greenhouses use automated climatic control variables, which can contribute to improve the quality of growth, reduction of losses and costs, facilitating the work of the producer and increasing its competitiveness in the market. Therefore, the present work aims to control some parameters related to climatic variables inside a greenhouse (temperature and humidity) from the external variables and the activation of the action mechanisms, using applied theory control with help from *MatLab*® and *SimuLink*® softwares. The type of controller chosen was On/Off for the activation of the water pump and the exhaust fans. Simulations of the internal temperature and humidity conditions were carried out from the energy and mass balance, with the external conditions, and the constructive characteristics of the vegetation house analyzed as inputs. The control system chosen was efficient, considering that the tomato crop allows a range of values for the ideal temperature and humidity. However, it is worth noting that the actuators in some situations, were not enough to maintain the ideal temperature range, being necessary the use of other mechanisms of action. In general, the control system acted satisfactorily.

KEYWORDS: control system, tomato, vegetal ambience.

INTRODUÇÃO: As estufas, por serem estruturas fechadas e possibilitarem condições ambientais internas melhores que as externas, são atrativas para os produtores agrícolas e cada vez mais utilizadas em todo o mundo. Entretanto, as variáveis climáticas (como temperatura e umidade do ar) variam muito em seu interior e dependem do clima externo (COUTO et al.,

2012). Atualmente, as casas de vegetação mais modernas utilizam controle automatizado das variáveis climáticas, o que pode contribuir para a melhoria da qualidade e produtividade, a redução das perdas e custos, entre outros (TERUEL, 2010).

A evolução dos computadores tem possibilitado o crescimento do uso de tecnologias de simulação computacional e controle nas engenharias, o que antes era complicado devido à baixa capacidade de armazenamento e processamento de dados dos computadores (ROCHA & SILVEIRA, 2012). Além disso, a simulação das condições ambientais dentro das estufas tem se tornado um instrumento relevante na horticultura moderna (COUTO et al., 2012).

O presente trabalho tem por objetivo realizar o controle dos parâmetros referentes às variáveis climáticas dentro de uma casa de vegetação (temperatura e umidade relativa do ar) a partir das variáveis externas e o acionamento dos mecanismos de atuação, utilizando-se da teoria de controle aplicado com o auxílio dos softwares *MatLab®* e *SimuLink®* versão 2013.

MATERIAL E MÉTODOS: A casa de vegetação analisada possui dimensões de 6,4m de largura, 18,3m de comprimento, 4,0m de pé direito, 1,5m de altura do pé direito à cumeeira, coberta por PEBD, difusor de luz com espessura de 150µm, e sistemas de ventilação natural e mecânica, sombreamento, e resfriamento evaporativo. O sistema de resfriamento evaporativo é do tipo meio poroso - exaustor, com altura de 1,8m e largura de 6,4m, umidificadas pelo acionamento de um conjunto moto-bomba ligado a uma caixa d'água (ZORZETO, 2015).

Para a realização do equacionamento do Balanço de Energia e de Massa, seguindo o equacionamento descrito por HELLICKSON & WALKER (1983) necessário para a simulação e controle foram pesquisados e calculados os seguintes parâmetros, em Tabela 1:

TABELA 1. Dados de entrada do modelo de simulação.

$\tau = 0,85$	$A_{cult} = 117 \text{ m}^2$	$V_{v_{ver}} = 2,63 \text{ m/s}$	$P_{er} = 49,4 \text{ m}$
$I_{v_{ver}} = 734 \text{ W/m}^2$	$E_{latente} = 0,75$	$\eta = 85\%$	$\varepsilon_{ar} = 0,8$
$P = 101,192 \text{ KPa}$	$A_{piso} = 117 \text{ m}^2$	$C_p = 1003 \text{ J/Kg.K}$	$E = 0,35$
$U = 7,14 \text{ W/m}^2.K$	$\sigma = 5,678 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.K^4$	$Aa = 105,5 \text{ m}^2$	$F = 1,15 \text{ W/mK}$
$A_{cob.a} = 133,6 \text{ m}^2$	$\varepsilon_{sup} = 0,95$	$\rho(ar) = 1,09 \text{ kg/m}^3$	$A_{cob.f} = 344,6 \text{ m}^2$
$Mp_{fc=1} = 0,0028167 \text{ kg/s}$	$Mp_{fc=0,5} = 0,0014083 \text{ kg/s}$	$\Delta T = (T_i - T_e)K$	$\gamma_t = 0,85$

O sistema de controle escolhido foi do tipo ON/OFF, pelo fato da temperatura e umidade relativa terem uma faixa ideal de valores para cada cultura, além da sua simplicidade e baixo custo para aplicação, visando uma melhor acessibilidade ao produtor agrícola. Nas simulações foram considerados como set-points: T entre 20 e 27°C e UR entre 50 e 70%. Os sistemas de controle são independentes, um para a bomba e outro para o exaustor (Figura 1).

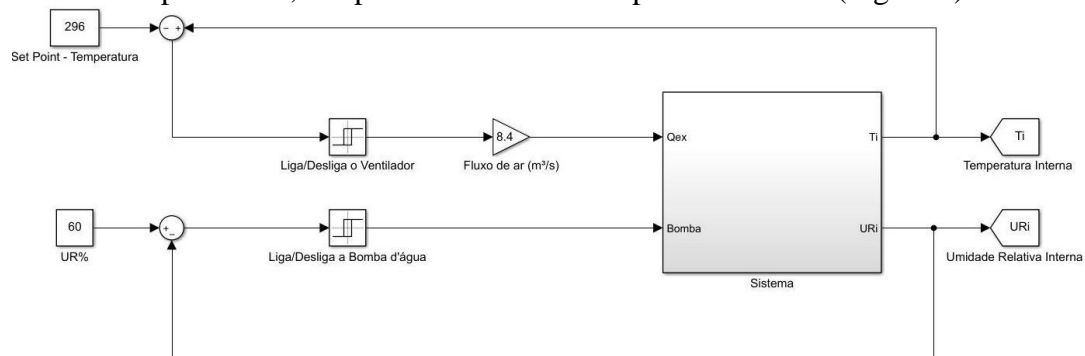


FIGURA 1. Sistema de controle no *Simulink®*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: As simulações foram realizadas considerando o uso da atuação (Com Controle - CC) e sem atuação (Sem Controle - SC), Temperatura Interna com controle (CC), Temperatura Interna sem controle (SC), Limite inferior da temperatura ideal (Li)

de 293K, Limite Superior da temperatura ideal (L_s) de 300K, Temperatura Externa e o acionamento dos exaustores ao longo do dia.

Com o acionamento apenas dos exaustores, foi possível reduzir a T_i à valores próximos da T_e , visto que o ar de entrada é o ar externo. Essa ventilação pode ser considerada uma troca de ar, que retira a sobrecarga de calor e controla indiretamente a umidade do ar, evitando ainda o surgimento de pragas (AZEVEDO JUNIOR, 2016). Comparando a atuação do exaustor para a situação de fator de cultivo 1 (Figura 2), com o fator de cultivo 0,5 (Figura 3), observa-se que para esse último a temperatura atingida pela curva da T_i sem atuação é muito mais crítica (passando de 315K, 42°C) do que para o caso com fator de cultivo igual a 1 (máxima de 305K, 32°C), cerca de 10 K (10°C), devido ao fato do calor latente componente do calor retirado pela ventilação ser diretamente proporcional ao fator de cultivo.

Quando a bomba está ligada é possível observar aumento considerável da umidade, dado que o ar de entrada agora vem do resfriamento evaporativo. Assim como para o exaustor, na condição de $F_c = 0,5$ a bomba d'água precisa ficar mais tempo ligada do que na condição de $F_c = 1,0$, devido a evapotranspiração das plantas influenciar diretamente nos valores da umidade, e quanto maior é o fator de cultura, maior é a área plantada e assim maior é o valor da umidade por evapotranspiração.

Nas situações críticas, em que mesmo com o uso do resfriamento evaporativo a T_i não foi reduzida o suficiente (redução máxima de 4°C tanto na simulação como experimentalmente (ZORZETO, 2015)), é necessário a adição de outros atuadores no sistema. ZORZETO (2015) constatou para essa casa de vegetação que o uso do resfriamento associado ao sombreamento fixo se mostrou o mais efetivo para reduzir a T_i e elevar a UR do ar interno, sendo o mesmo observado por ARAÚJO et al. (2012) avaliando diferentes graus tecnológicos aplicados em ambiente protegido.

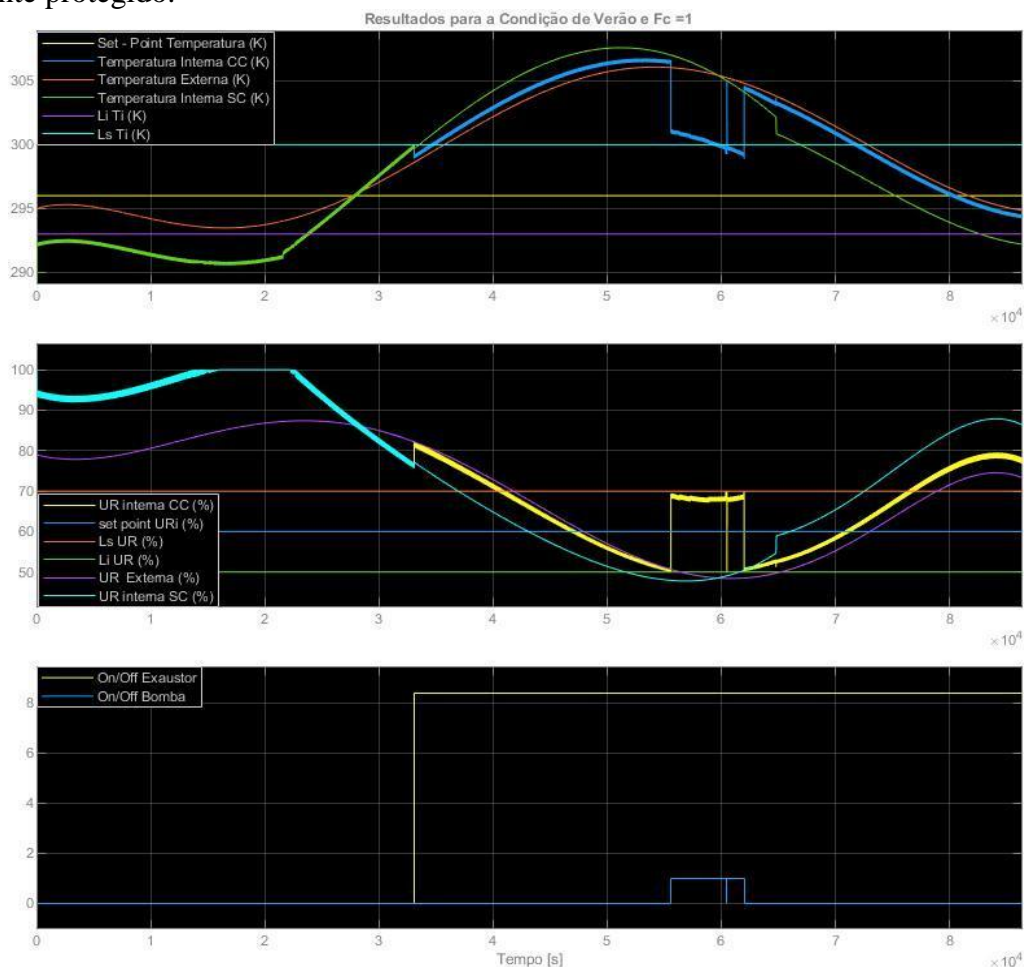


FIGURA 2. Resultado da simulação para a condição de Verão e $F_c = 1$ com On/Off dos atuadores.

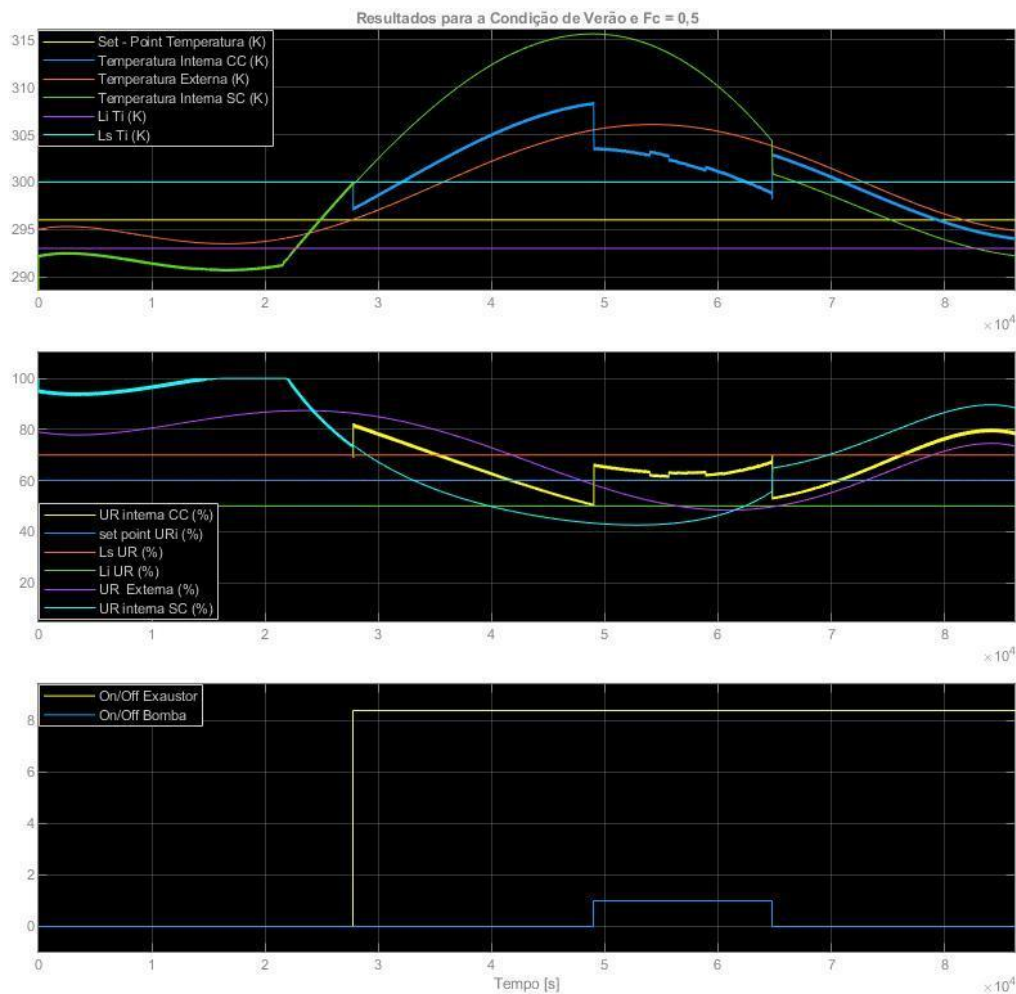


FIGURA 3. Resultado da simulação para a condição de Verão e $F_c=0,5$ com On/Off dos atuadores.

CONCLUSÕES: O sistema de controle escolhido (On/Off) se mostrou eficiente, tendo em vista que a cultura do tomateiro permite uma faixa de valores para a T e UR ideal. Entretanto, os atuadores escolhidos para o controle em algumas situações não foram suficientes para manter a faixa de temperatura ideal, sendo necessário assim, outros mecanismos de atuação. Além disso, o resfriamento evaporativo é mais eficiente para o controle da T do que da UR , desta forma, dependendo das exigências da cultura, atuadores como nebulizadores seriam necessários. De forma geral, o sistema de controle na simulação agiu de forma satisfatória, e os sistemas de balanço de energia e massa podem ser alterados conforme a necessidade e características construtivas da estufa, podendo ser modificado para outras aplicações.

REFERÊNCIAS:

- ARAÚJO, H. F.; FERRARI, D. L.; LEAL, P. A. M. Controle da variação temporal da temperatura e umidade relativa em ambiente protegido de diferentes níveis tecnológicos. Fortaleza - Brasil. INOVAGRI, 2012.
- AZEVEDO JUNIOR, A. L. Sistema de monitoramento e climatização de estufa de pequeno porte em um contexto doméstico. Centro Universitário de Brasília - UniCEUB. Brasília, 2016.
- COUTO, N.; ROUBOA, A.; MONTEIRO, E.; VIEIRA, J. Computational Fluid Dynamics Analysis of Greenhouses with Artificial Heat Tube. World Journal of Mechanics, 2, 181-187, 2012.
- HELLICKSON, M. A.; WALKER, J.N. Ventilation of agricultural structures. Michigan: American agricultural structures Society of Agricultural Engineers (ASAE), 370 p. 1983.
- ROCHA, P. A. C.; SILVEIRA, J. V. P. Estudo e aplicação de simulação computacional em problemas simples de mecânica dos fluidos e transferência de calor. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 3, 4306, 2012.
- TERUEL, B. J. Controle automatizado de casas de vegetação: Variáveis climáticas e fertirrigação. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.14, n.3, p.237-245, 2010.
- ZORZETO, T. Q. Mapeamento meteorológico de diferentes graus tecnológicos em casas de vegetação. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP. Campinas-SP, 2015.