

## Modelagem Matemática de um Protótipo de Estufa Agrícola

Alan C. P. Viana,<sup>1</sup> Ania Lussón Cervantes,<sup>2</sup> Reinel Beltrán Aguedo<sup>3</sup>

Engenharia Eletrônica/UFRPE, Cabo de Santo Agostinho, PE

Neste trabalho, apresenta-se a modelagem matemática para um protótipo de estufa agrícola construído na UACSA/UFRPE (Figura 1). Seus principais componentes são: ventiladores (FAN) para ventilação e exaustão, reservatório de água para irrigação, fita led para iluminação, display LCD para visualização de dados, sensor DHT11 para medições de temperatura e umidade relativa do ar, sensor LDR para leitura de luminosidade, sensor higrômetro FC-28 para detectar as variações da umidade do solo e o microcontrolador Arduino Uno.

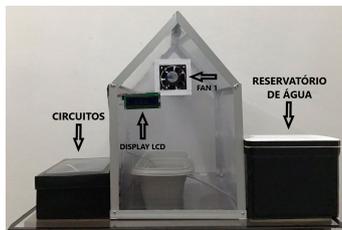


Figura 1: Protótipo estufa agrícola. Fonte: Elaborada pelo autor.

A modelagem para esse protótipo inicia-se com as equações não lineares que representam a dinâmica que rege o clima no interior de uma estufa agrícola. O microclima de uma estufa é resultado de diversas interações entre plantas, solo, estrutura e condições climáticas externas, essas condições são constatadas por meio dos processos de balanço de massa e transferência de energia. Pela dinâmica do clima de uma estufa, é possível determinar que os principais parâmetros a serem controlados nesse ambiente são a temperatura ( $T_{in}$ ) e a umidade relativa do ar ( $W_{in}$ ). Para o presente resumo, foi adotado o modelo matemático não linear de estufa agrícola apresentado nas equações (1) e (2) em [2].

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V} [Q_{heat} + S_i(t) - \lambda Q_{fog}(t)] - \frac{\dot{V}(t)}{V} [T_{in}(t) - T_{out}(t)] - \frac{UA}{\rho C_p V} [T_{in}(t) - T_{out}(t)]. \quad (1)$$

$$\frac{dW_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} [Q_{fog}(t)] + \frac{1}{\rho V} [E(S_i(t), W_{in}(t))] - \frac{\dot{V}(t)}{\rho V} [W_{in}(t) - W_{out}(t)]. \quad (2)$$

Devido à complexidade das equações (1) e (2), fez-se necessário realizar a transformação das equações para o modelo em espaço de estados. As variáveis de estado foram definidas pelo modelo descrito em [3] e apresentadas em (3) e (4), onde:  $x_1(t) = T_{in}(t)$ ,  $x_2(t) = W_{in}(t)$ ,  $u_1(t) = \dot{V}(t)$ ,  $u_2(t) = Q_{fog}(t)$ ,  $v_1(t) = S_i(t)$ ,  $v_2(t) = T_{out}(t)$ ,  $v_3(t) = W_{out}(t)$ .

<sup>1</sup>alanvianape@gmail.com

<sup>2</sup>ania.lusson@ufrpe.br

<sup>3</sup>reinel.beltran@ufrpe.br

$$\dot{x}_1(t) = -\frac{UA}{\rho C_p V} x_1(t) + \frac{1}{\rho C_p V} v_1(t) + \frac{UA}{\rho C_p V} v_2(t) + \frac{u_1(t)}{V} [v_2(t) - x_1(t)] - \frac{\lambda}{\rho C_p V} u_2(t). \quad (3)$$

$$\dot{x}_2(t) = -\frac{\beta_t}{\rho V} x_2(t) + \frac{1}{\rho V} [v_3(t) - x_2(t)] u_1(t) + \frac{\alpha}{\lambda \rho V} v_1(t) + \frac{1}{\rho V} u_2(t). \quad (4)$$

A partir das equações (3) e (4), mediante o método de série de Taylor demonstrado em [1], obtém-se o modelo linear da estufa, representado em (5) e (6), onde  $y_1(t) = x_1(t)$ ,  $y_2(t) = x_2(t)$ . O ponto de operação escolhido para o método foi de 28°C para a temperatura e 80% para umidade relativa do ar.

$$\partial \dot{x} = \begin{pmatrix} \frac{-UA}{\rho C_p V} - \frac{u_1(t)}{V} & 0 \\ 0 & -\frac{\beta_t}{\rho V} - \frac{u_1(t)}{\rho V} \end{pmatrix} \partial x + \begin{pmatrix} \frac{-x_1(t)}{V} + \frac{v_2(t)}{V} & \frac{-\lambda}{\rho C_p V} \\ \frac{-x_2(t)}{\rho V} + \frac{v_3(t)}{\rho V} & \frac{1}{\rho V} \end{pmatrix} \partial u + \begin{pmatrix} \frac{1}{\rho C_p V} & \frac{UA}{\rho C_p V} + \frac{u_1(t)}{V} & 0 \\ \frac{\alpha}{\rho \lambda V} & 0 & \frac{u_1(t)}{\rho V} \end{pmatrix} \partial v. \quad (5)$$

$$\partial y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \partial x. \quad (6)$$

Com o modelo matemático linearizado, foi possível definir os parâmetros conforme características específicas do protótipo e definir o modelo em espaço de estados da estufa. Para realizar a transformação de espaço de estados para função de transferência, utilizou-se a função `ss2tf` do *Matlab*. O modelo é representado em (7), (8), (9) e (10).

$$G_{11}(s) = \frac{9,25s + 3,01}{s^2 + 15,56s + 4,96}. \quad (7)$$

$$G_{12}(s) = \frac{-34,62s - 11,28}{s^2 + 15,56s + 4,96}. \quad (8)$$

$$G_{21}(s) = \frac{12,59s + 191,87}{s^2 + 15,56s + 4,96}. \quad (9)$$

$$G_{22}(s) = \frac{15,43s + 235,15}{s^2 + 15,56s + 4,96}. \quad (10)$$

Finalmente, mediante o uso do *Simulink/Matlab*, realizam-se as simulações do modelo matemático linear do protótipo, obtendo uma resposta adequada para os parâmetros especificados, evidenciando uma forte interações entre as malhas.

## Referências

- [1] W. I. R. Agmail, R. Linker e A. Arbel. “Robust control of greenhouse temperature and humidity”. Em: **IFAC Proceedings Volumes** 42.6 (2009), pp. 138–143. DOI: 10.3182/20090616-3-IL-2002.00024.
- [2] L. D. Albright. “Controlling greenhouse environments”. Em: **International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses** 578. 2001, pp. 47–54. DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.578.4.
- [3] Y. Gao, X. Song, C. Liu e S. He. “Feedback feed-forward linearization and decoupling for greenhouse environment control”. Em: **International Conference on Mechatronics and Control (ICMC)**. IEEE. 2014, pp. 179–183. DOI: 10.1109/ICMC.2014.7231543.