

ESTIMATIVA DA TEMPERATURA, DO DÉFICIT DE SATURAÇÃO E DA UMIDADE RELATIVA DO AR EM ESTUFAS PLÁSTICAS A PARTIR DE DADOS DE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Evandro Zanini RIGHI¹, Luiz Roberto ANGELOCCI², Galileo Adeli BURIOL³,
Arno Bernardo HELDWEIN³ & Jerônimo Luis ANDRIOLO³

1. INTRODUÇÃO

O manejo das aberturas das estufas plásticas para ventilação da cultura e da irrigação é muito importante para obter-se os resultados desejados no sistema de produção. Eliminar o excesso de umidade e atenuar o aquecimento excessivo ou armazenar calor no ambiente interno das estufas, deve ser feito corretamente e de forma oportuna, dentro das disponibilidades tecnológicas e do ambiente característico do local. Portanto, conhecer a variação dos elementos meteorológicos no interior das estufas e sua relação com aqueles do exterior torna-se muito importante para a boa condução desses sistemas de cultivo.

A possibilidade de obtenção das variáveis meteorológicas no interior da estufa de forma precisa e acurada a partir daquelas do exterior é muito importante para o produtor no que se refere a possibilidade de a partir de apenas um sistema de aquisição de dados poder-se estimar as variáveis para várias estufas, reduzindo o custo de aquisição de outros sistemas. Ainda, estando numa região de cobertura de uma estação meteorológica, pode-se obter os elementos meteorológicos na estufa sem custo algum na aquisição de sistemas de coleta de dados.

Por isso, o objetivo desse trabalho foi determinar as relações existentes entre as variáveis temperatura, umidade relativa e déficit de saturação do ar no interior da estufa com aquelas do exterior.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no interior de uma estufa plástica de 2m de pé direito, 3m de altura da cumeeira, janelas laterais de 1m de altura iniciando a 1m do solo e portas frontais de 3m de largura por 2m de altura, em estrutura de madeira, coberta com PEBD de 100 μ m, cultivada com tomateiro de hábito de crescimento determinado, em solo e substrato no período de outono-inverno, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS (29°42'S, 53°42'W e 95m de altitude).

As plantas de tomateiro foram transplantadas para a estufa no dia 23 de fevereiro de 1999 e conduzidas até 07 de julho do mesmo ano.

O manejo das aberturas laterais e portas frontais da estufa foi realizado de acordo com as condições de temperatura, precipitação e umidade do ar. Durante o experimento, devido a redução do comprimento dos dias e maior inclinação dos raios solares em relação à superfície, o tempo em que a estufa fora mantida fechada aumentou para armazenar calor. Mesmo em dias com temperatura baixa, abriu-se por algumas horas uma ou as duas aberturas laterais para permitir a ventilação interna e, dessa forma, a troca do ar mais úmido pelo ar externo mais seco.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos de um termohigrógrafo instalado a 1,5m do solo em abrigo padrão no interior da estufa. No exterior da estufa, obteve-se as variáveis medidas às 9h, 15h e 21h de temperatura, umidade relativa do ar. A densidade de fluxo de radiação solar média diária foi calculada a partir dos dados de insolação com a equação de Ångström-Prezcott com os coeficientes mensais ajustados por Estefanel et al. (1990). O saldo de radiação diário foi também calculado. Maiores detalhes sobre a condução do experimento encontram-se em Righi (2000).

Com esses dados, estabeleceu-se correlações entre os valores das variáveis internas e externas da estufa, em correlações simples e múltiplas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média do ar no interior da estufa (T_{mi}) foi a variável com maior potencial para estimativa a partir de variáveis externas. O melhor ajuste foi obtido com a temperatura média do ar no exterior da estufa (T_{me}), $R^2=0,94$, Eq. 1 na Tabela 1. Notou-se que aos menores e maiores valores de T_{me} existiu tendência em aumentar as diferenças entre as variáveis, logicamente com os valores mais elevados no interior pelo isolamento causado pelo plástico, diminuindo as trocas com camadas mais elevadas da atmosfera. A medida que T_{me} diminuiu, maior tempo a estufa foi mantida fechada e ocorreu maior tempo e intensidade de condensação na superfície inferior do plástico, reduzindo as perdas de radiação de onda longa. Aos elevados valores de T_{me} , podem estar associados o efeito de isolamento pelo plástico mais a baixa velocidade do vento nessas condições. Ainda, a maioria desses valores elevados ocorreram no início do cultivo, quando as plantas ainda eram pequenas e, portanto, grande parte do solo encontrava-se descoberto e seco, aumentando a proporção calor sensível/calor latente, enquanto que na estação meteorológica o solo encontrava-se coberto pela grama. Em função dessa tendência, uma função exponencial teve um ajuste levemente melhor ($R^2=0,95$; Eq. 2 na Tabela 1), explicando com mais exatidão a variação dos dados. Um coeficiente de determinação elevado foi obtido também com a temperatura do ar no exterior da estufa medida às 9h (T_{e9}), $R^2=0,89$, com equação de ajuste linear.

Em regressões múltiplas, as Equações 3 e 4 (Tabela 1) tiveram ajuste maior dos dados. O saldo de radiação (R_n) foi a variável que melhor ajustou após T_{me} . Sem considerar-se R_n , a qual requer mais conhecimento do produtor para estimar ou equipamento para medir, foi a temperatura do ar às 21h (T_{e21}), porém, esta teve efeito negativo. Analisando-se a variação diária de T_{mi} e T_{e21} verificou-se que em vários dias tiveram tendências contrárias. Provavelmente, isso seja resultado do fechamento cedo da estufa em dias frios para armazenar calor e em outros casos a ocorrência de ventos do quadrante norte misturando camadas de ar da atmosfera mais aquecidas na superfície, evitando-se a formação da inversão térmica (Buriol et al., 1993).

Os valores da temperatura máxima do ar no interior da estufa (T_{maxi}) não relacionou-se a contento com nem uma

¹ Doutorando do Curso de Física do Ambiente Agrícola, ESALQ/USP – Bolsista CAPES. Av. Pádua Dias, 11, CP 9. Piracicaba, SP – CEP: 13418 – 900. E-mail: ezrighi@carpa.ciagri.usp.br.

² Prof. Dr. do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. E-mail: lrangelo@carpa.ciagri.usp.br.

³ Engº Agrº Dr., Prof. do Departamento de Fitotecnia. Centro de Ciências Rurais. UFSM. CEP 97119-900, Santa Maria, RS. E-mail: heldwein@creta.ccr.ufsm.br

das variáveis externas medidas, sendo o coeficiente de determinação máximo $R^2=0,75$ considerando-se a temperatura às 15h, déficit de saturação do ar, e Rn no exterior da estufa. Em regressões simples, a temperatura máxima do ar no exterior da estufa (Tmaxe) foi a que melhor ajustou os dados. No entanto, a temperatura mínima no interior da estufa (Tmini) ajustou-se bem com aquela do exterior (Tmine), $R^2=0,94$ (Eq. 5 na Tabela 1). Novamente, Rn representou um bom acréscimo no ajuste ($R^2=0,96$, Eq. 6 na Tabela 1). Não considerando-se Rn, Tme apareceu como a variável que mais efeito teve sobre o ajuste ($R^2=0,95$, Eq. 7 na Tabela 1).

No que diz respeito à umidade relativa do ar, os valores médios no interior da estufa (URmi) correlacionaram-se melhor com Rg ($R^2=0,73$). Este ajuste melhorou com o acréscimo de Tmaxe ($R^2=0,81$, Eq. 8 na Tabela 1). O valor mais elevado de R^2 foi obtido para a Eq. 9, $R^2=0,90$. A mesma dificuldade foi observada para a umidade relativa mínima do ar no interior da estufa (URmini), cujo $R^2=0,87$ foi o mais elevado.

Quanto ao déficit de saturação do ar no interior da estufa (Di), em regressão simples a variável que melhor ajustou os dados foi Tmaxe, $R^2=0,74$. Em seguida, o déficit de saturação do ar no exterior da estufa (De) melhorou o ajuste, $R^2=0,85$ (Eq. 10 na Tabela 1). Com o acréscimo de Rg e da insolação (n), obteve-se $R^2=0,92$ (Eq. 11 na Tabela 1). Porém, observa-se que n teve efeito negativo sobre Di, o que não é lógico, mas esse efeito pode ser fruto da interdependência entre Rg e n, ambos inseridos na Eq.. Desconsiderando-se n, obteve-se $R^2=0,90$ (Eq. 12 na Tabela 1).

Esses resultados mostram existir maior dificuldade em relacionar as variáveis que quantificam o teor de umidade em relação à temperatura do ar. Esse fenômeno pode ser explicado pela ineficiência dos plásticos utilizados nas estufas em reter e refletir onda longa emitida pelo solo da mesma (Buriol et al., 1993), fazendo com que a temperatura do exterior da estufa tenha grande influência sobre aquela do interior. Outro fator agravante dessa situação é a mal vedação das estufas que permitem trocas de ar com a atmosfera externa.

Quando se trabalha com variáveis que quantificam a umidade do ar, dever-se-ia incluir uma variável referente ao manejo da estufa, como período de abertura das laterais e portas, se uma ou duas laterais ou portas são abertas e velocidade do vento. Como o transporte de calor latente se dá por fluxo de massa e não irradiação, o plástico torna-se um barramento para as trocas com a atmosfera, existindo fugas somente por aberturas ou pontos mal vedados, comprometendo boas relações entre os elementos meteorológicos internos e externos.

Embora existam tais dificuldades, na inexistência de formas de medida para o produtor das variáveis de interesse ou para reduzir custos, existe potencial para a modelagem das variáveis do interior da estufa a partir daquelas do exterior, o que permitiria, dentro de suas

Tabela 1: Equações de regressão entre temperatura, umidade relativa e déficit de saturação do ar no interior da estufa com variáveis do exterior

Eq.	Regressão	R ²
1	Tmi=5,3171+0,9243.Tme	0,94
2	Tmi=9,6594.EXP ^{0,0443.Tme}	0,95
3	Tmi=7,0586+0,6853.Tme+0,0566.Rn	0,95
4	Tmi=5,4334+1,2991.Tme-0,3863.Te21	0,95
5	Tmini=4,0719+0,9213.Tmine	0,94
6	Tmini=4,2938+0,7726.Tmine+0,0433.Rn	0,96
7	Tmini=2,6441+0,7108.Tmine+0,2497.Tme	0,95
8	URmi=106,5032-0,4118.Tmaxe-0,1041.Rg	0,81
9	URmi=81,2898-0,2929.Tmaxe+0,1027.UR9+ 0,1771.UR15-,1313.Rg+1,0142.n	0,90
10	Di=-0,4379+0,0270.Tmaxe+0,6834.De	0,85
11	Di=-0,5439+0,0167.Tmaxe+0,3811.De+0,0059.Rg-0.0507.n	0,92
12	Di=-0,4965+0,0137.Te9+0,0140.Tmaxe+0,4244.De+0,0020.Rg	0,90

limitações, o produtor utilizar-se de dados de estações agrometeorológicas regionais ou medidas de fácil obtenção em sua propriedade.

4. CONCLUSÕES

Existe um grande potencial para estimar-se as variáveis meteorológicas no interior de estufas plásticas na região de estudo a partir daquelas do exterior. A temperatura média do ar é a que apresenta melhor potencialidade de estimativa. Quando consideradas variáveis que quantificam vapor d'água, menores correlações são obtidas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURIOL, G. A.; RIGHI, E. Z.; SCHNEIDER, F. M.; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V. Modificação da umidade relativa do ar pelo uso e manejo da estufa plástica. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, v.8, n.1, p.11-18, 2000.
- ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BERLATO, M. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B. Insolação e radiação solar de Santa Maria, RS: I – Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. **Rev. Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.20, n.3-4, p.303-218, 1990.
- BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M.; ESTEFANEL, V.; ANDRIOLO, J. L.; MEDEIROS, S. L. Modificação na temperatura mínima do ar causadas por estufas de polietileno transparente, de baixa densidade. **Rev. Bras. de Agrometeorologia**, v.1, p.43-49, 1993.
- RIGHI, E. Z. Consumo hídrico do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado em estufa plástica e sua relação com variáveis meteorológicas em Santa Maria, RS. Piracicaba, 2000. 69p. Dissertação (M.S.) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.