

ESTIMATIVA DA VELOCIDADE DO VENTO EM UMA CASA DE VEGETAÇÃO

R. T. ATARASSI ¹, M. V. FOLEGATTI ², R. P.C. BRASIL ³

¹ DSc. Engenheiro Agrônomo, Depto de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, Piracicaba - SP, (19) 3429-4218 – R.: 267, email: rtataras@esalq.usp.br.

² Prof. Doutor, Depto de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba - SP

³ DSc. Engenheiro Civil, ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

Escrito para apresentação no

XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola

31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

RESUMO: A velocidade do vento é uma variável importante nos processos de evapotranspiração, trocas de calor e ventilação em ambientes protegidos, entretanto é pouco estudada no Brasil. O presente trabalho teve como objetivo a calibração de um modelo de estimativa da velocidade do vento no interior de uma casa de vegetação. Foram utilizados dados coletados em uma casa de vegetação tipo arco, coberta com filme de polietileno, de 6,4 x 17,5m, pé direito com 3m e altura de arco de 1,5m, cultivada com pimentão amarelo e instalada em Piracicaba, SP. O modelo utilizado, em que a velocidade do vento interna (V_i) é diretamente proporcional à velocidade do vento externa (V_e) e a razão de abertura (RA), apresentou ótimo ajuste ($R^2 = 0,81$), possibilitando sua aplicação na estimativa daquela variável. Análises de regressão para cada RA indicam que mesmo com bons resultados, RA e V_e não explicam completamente a variação da velocidade do vento interna, sendo interessante em futuros estudos a inclusão de outros elementos como temperatura do ar e direção do vento.

PALAVRAS-CHAVE: ESTUFA, VENTILAÇÃO, MODELAGEM

WIND SPEED ESTIMATION IN A GREENHOUSE

ABSTRACT: The wind speed is an important variable in evapotranspiration, heat exchange and ventilation process in protected environments, but there are few works in Brazil. The aim of present the work was to calibrate a model for wind speed estimation in a greenhouse. A set of data was collected in a single span plastic greenhouse, 6,4m width, 17,5m length, 3,0m eave height, 1,5m arc height, cultivated with sweet pepper, in Piracicaba, SP, Brazil. The model estimated the internal wind speed (V_i) by a linear function of external wind speed and opening ratio (RA) and presented a good fit ($R^2 = 0,81$). Although the good results, regression analyses for each RA indicate that RA and V_e have not explained all the variation of V_i . For future studies it is recommended the inclusion of other variable in the model, such air temperature and wind direction.

KEYWORDS: GREENHOUSE, VENTILATION, MODELLING

INTRODUÇÃO: Atualmente no Brasil não são relatados estudos com velocidade do vento em casas de vegetação, citando-se apenas parte deste mesmo projeto recentemente publicado (Atarassi et al, 2006). Esta falta provavelmente é devida à dificuldade na medida dos seus baixos valores que exigem instrumentos sofisticados como anemômetros sônicos e de fio quente. A velocidade do vento é aplicado no cálculo da resistência aerodinâmica para obtenção da evapotranspiração de referência, variável importante no manejo da irrigação (Wang et al, 1999). Além disso, o vento juntamente com a

temperatura promove a ventilação natural, movimentando o ar entre o ambiente interno e externo, que influencia as trocas convectivas de calor e massa e, conseqüentemente, o microclima ao redor da cultura. Este processo representa o principal fator de alteração do balanço de energia em casas de vegetação (Businger, 1966). No Brasil, é interessante o aproveitamento da ventilação natural, pois exige menor investimento e gasto de energia, potencializando a dissipação do excesso de calor e umidade, que representam problemas nas condições subtropicais e tropicais do país. O trabalho teve como objetivo a calibração de um modelo de estimativa da velocidade do vento no interior de uma casa de vegetação, a partir da velocidade do vento externa e da área de aberturas.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), município de Piracicaba, SP, em uma casa de vegetação do tipo arco simples, orientada no sentido leste-oeste, com 17,5 m de comprimento e 6,4 m de largura, pé-direito de 3,0 m e altura de arco de 1,5 m, coberta com filme de polietileno de baixa densidade de 0,15 mm de espessura (Figura 1). A ventilação foi natural, realizada através de aberturas laterais e aberturas frontais superiores (área total de aberturas de 125,5m²), munidos de sistemas manuais de fechamento. Todas as aberturas também foram protegidas com tela sombrite de 60%. A casa de vegetação foi cultivada com pimentão amarelo, variedade “Matador”, em linhas simples, orientadas no sentido leste-oeste, espaçamento de 0,5 x 1,2 m, conduzida em forma de “V”, com quatro hastes por planta. As medidas de velocidade do vento no interior da casa de vegetação foram obtidas com anemômetro ultra-sônico, modelo CSAT3, da Campbell Scientific Inc, instalado a 0,6m do solo, próximo ao dossel da cultura. Externamente, foram coletados dados de velocidade e direção do vento através de um anemômetro de caneca, modelo 03101-5 da R.M. Young (velocidade de partida de 0,2m s⁻¹) instalado a 5m de altura em uma das extremidades da casa de vegetação. Um sistema de aquisição de dados Micrologger CR23X da Campbell Scientific Inc., amostrou os dados a cada 4 segundos e médias a cada 30 minutos, entre os dias 28/09 e 18/10/2004, período em que a cultura apresentava altura de 0,6m, índice de área foliar (IAF) de 0,73 m²/m² e 40 dias após o transplântio. O manejo da ventilação foi similar aos dos produtores locais, com fechamento nos dias mais frios e abertura com o aumento da temperatura interna, geralmente no início da manhã e nos dias de chuva e vento intenso. Para análise, assumiu-se apenas o efeito do vento externo na movimentação do ar interno, aplicando-se uma analogia a equação de Boulard et al (1997), que considerou a taxa de ventilação proporcional à velocidade do vento externa e a área de aberturas (eq. (1)).

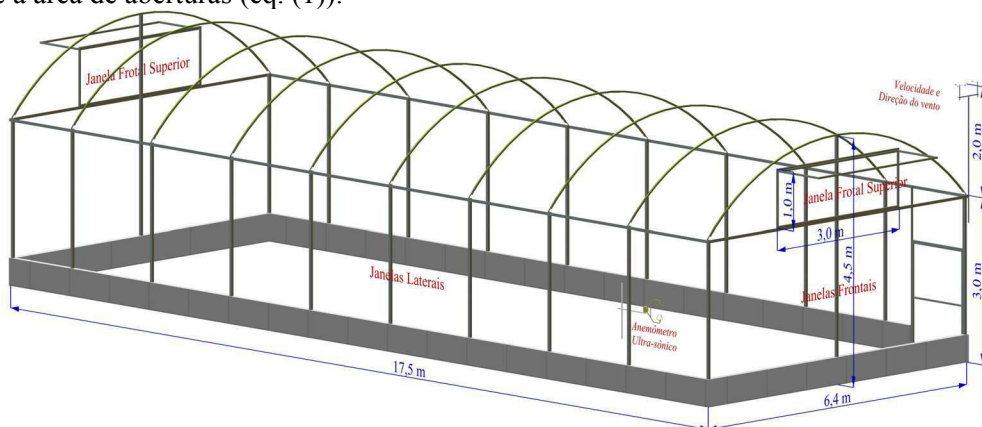


Figura 1. Esquema da casa de vegetação utilizada no experimento

$$V_i = a \cdot V_e \cdot RA + b \quad (1)$$

em que V_i é a velocidade do vento interna (m s⁻¹), V_e é a velocidade do vento externa (m s⁻¹), RA é a razão entre a área de aberturas atual e a área de abertura total (adimensional), e a e b são coeficientes empíricos, que foram determinados com auxílio do programa TableCurve3D. Também foram realizadas análises de regressões lineares de V_i em função de V_e , de acordo com a eq.(2), para cada RA utilizada no manejo da ventilação. Foram descartados dados com velocidades do vento externas iguais a velocidade de partida do anemômetro de caneca, que não são detectados pelo sensor, e assumiu-se que V_i é independente da direção do vento.

$$V_i = a \cdot V_e + b \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A equação (1) apresentou ótimo ajuste (Figura 2 e Tabela 1), mesmo para V_e menores que 2 m s^{-1} , valor relatado (Fatnassi et al, 2002; Boulard et al, 1995) abaixo do qual a convecção térmica torna-se significativa no computo da ventilação. Com a casa de vegetação totalmente fechada (Figura 3, $RA = 0$), o coeficiente angular da equação de regressão indica que praticamente não há ação do vento externo sobre vento interno. Mas uma pequena relação é observada e confirmada pela análise de regressão que indicou um ajuste linear significativo a 1% de probabilidade. Analogamente aos trabalhos de Boulard et al (1997), o coeficiente linear da regressão pode ser associado a uma velocidade do vento básica, ou seja, um valor mínimo de movimentação de ar causado pelas falhas da vedação e do efeito convectivo do aquecimento do ar. Com a casa de vegetação fechada, a velocidade do vento permaneceu abaixo de $0,1087 \text{ m/s}$ em 95% do tempo, valor semelhante ao encontrado por Wang et al (1999), que observaram velocidades de $0,05$ a $0,07 \text{ m s}^{-1}$. Como esperado, com a abertura das laterais ocorreu um aumento crescente do coeficiente angular da equação de ajuste, mantendo ótima relação linear (Figura 3, $RA = 0,0478, 0,952$ e $1,0$). Este aumento do efeito do vento externo sobre o vento interno indica um aumento na eficiência das trocas de ar, o que representa uma melhoria nas trocas de calor e massa. As equações possibilitarão uma base mais adequada para o dimensionamento e controle das casas de vegetação, considerando a falta de dados para as nossas estruturas e clima. Um ponto a ser observado é a relativa constância nos valores de coeficiente linear até $RA = 0,952$ e um aumento na condição de janelas totalmente abertas ($RA = 1$), que possivelmente está ligado a abertura das janelas frontais superiores (Figura 1). Como mencionado anteriormente, o coeficiente linear da equação tem relação com as trocas por convecção térmica, ou seja, a movimentação de ar devido às diferenças de temperatura. A temperatura na casa de vegetação geralmente é mais quente que o ar externo, o que gera uma tendência natural do ar se movimentar de um ponto mais baixo quente para um ponto mais alto frio. Como exposto nos modelos de convecção térmica (Boulard et al, 1997), quanto maior a altura dos pontos de saída do ar quente, maior é a troca de ar devido à diferença de densidade entre ar quente e ar frio. Desta forma, é interessante o uso de aberturas laterais associado a aberturas superiores, como janelas zenitais e lanternins, melhorando as trocas de ar e a dissipação do calor (Boulard et al, 1997; Kittas et al, 1997), que na maioria dos casos são excessivos nas condições tropicais e subtropicais, como as do Brasil.

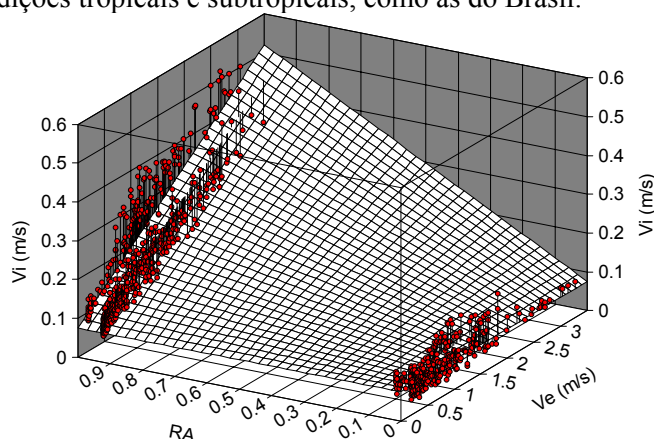


Figura 2. V_i em função de RA e V_e e superfície de ajuste de acordo com a eq. (1)

Tabela 1. Ajustes para as equações (1) e (2) e valores médios de V_e e V_i medidos nos períodos

RA	Equação ajustada	R^2	médias (m s^{-1})		Observações
			V_e	V_i	
Todos	$V_i = 0,1272 V_e RA + 0,07543$	0,814	0,8545	0,6777	919
0,000	$V_i = 0,00596 V_e + 0,07831$	0,028	0,7511	0,0828	287
0,048	$V_i = 0,04478 V_e + 0,06057$	0,511	0,7154	0,0926	72
0,952	$V_i = 0,10701 V_e + 0,06104$	0,828	0,8125	0,1480	407
1,000	$V_i = 0,14423 V_e + 0,10338$	0,861	1,2257	0,2802	153

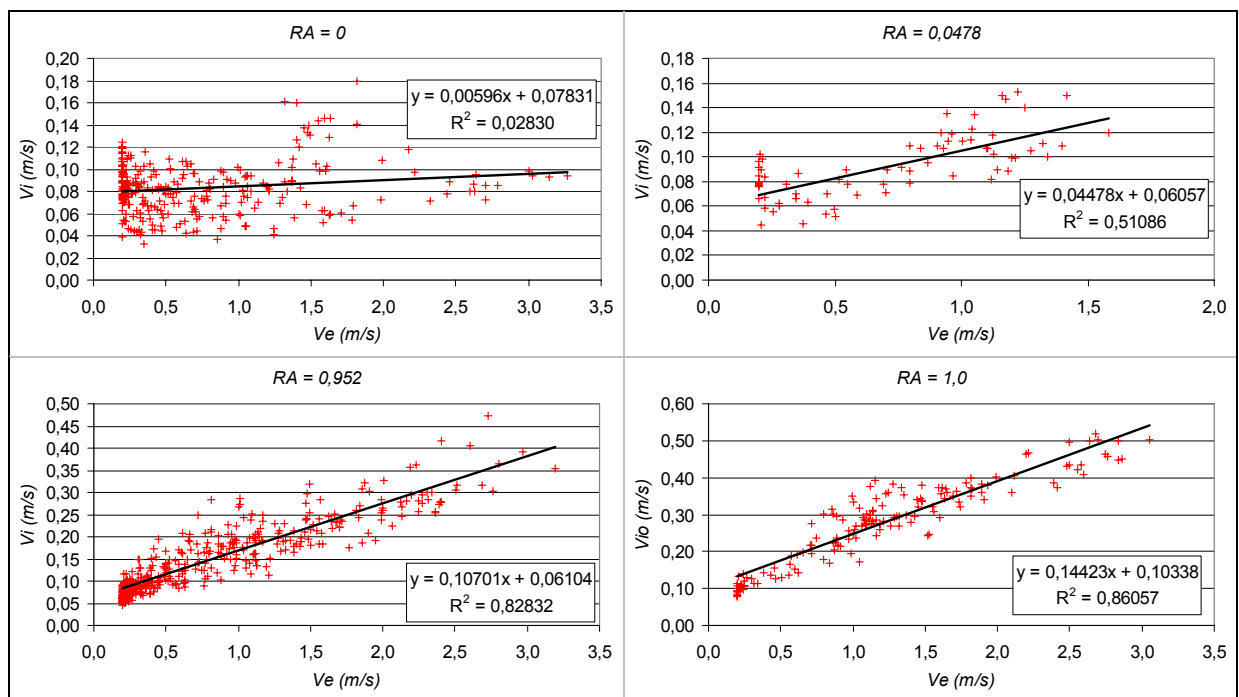


Figura 3. V_i em função de V_e e reta de ajuste de acordo com a eq. (2)

CONCLUSÕES: A velocidade do vento interna pode ser estimada a partir da velocidade do vento externa e da área de aberturas, seguindo uma relação linear com as duas variáveis. Entretanto, mesmo com ajuste adequado, é interessante que futuras pesquisas contemplem também o efeito de outras variáveis como temperatura do ar e direção do vento, para melhoria das estimativas.

AGRADECIMENTOS: A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por ter fornecido os recursos para pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATARASSI, R. T.; FOLEGATTI, M. V.; BRASIL, R. P. C. Convection regime between canopy and air in a greenhouse. **Scientia Agricola**, v.63, n.1, p.77-81, 2006.
- BOULARD, T.; BAILLE, A. Modelling of air exchange rate in a greenhouse equipped with continuous roof vents. **Journal of Agricultural Engineering Resource**, v.61, n.1, p.37-48, 1995.
- BOULARD, T.; FEUILLOLEY, P. ; KITTAS, C. Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.67, n.3, p. 249 – 266, 1997.
- BUSINGER, J.A. The glasshouse (greenhouse) climate. In: VAN WIJK, W.P. **Physics of plant environment**. Amsterdam: North-Holland Publishing, 1966. Cap.9, p.276-318.
- FATNASSI, H.; BOULARD, T.; DEMRATI, H.; BOUÍRDEN, L.; SAPPE, G. Ventilation performance of a large canarian-type greenhouse equipped with insect-proof nets. **Biosystem Engineering**, v.82, n.1, p.97-105, 2002.
- KITTAS, C.; BOULARD, T.; PAPADAKIS, G. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: Sensivity to temperature and wind effects. **Transactions of the ASAE**, v.40, n.2, p.415-425, 1997.
- WANG, S.; BOULARD, T.; HAXAIRE, R. Air speed profiles in a naturally ventilated greenhouse with a tomato crop. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.96, p.181-188. 1999.