

SENSORES ELETRÔNICOS DE MOLHAMENTO FOLIAR: VALIDADE E ASPECTOS PRÁTICOS

José Eduardo B. de Almeida MONTEIRO^{1,2,3}, Paulo Cesar SENTELHAS^{1,2}, José Ricardo M. PEZZOPANE^{1,4}

INTRODUÇÃO

A medida da duração do período com condensação de água sobre superfícies foliares, denominado de duração do período de molhamento foliar (DPM), é de extrema importância no estudo da relação entre a epidemiologia de doenças de plantas e o ambiente, em função dos patógenos necessitarem de água líquida para a germinação e a infecção dos tecidos vegetais.

A ocorrência e duração do molhamento por orvalho são determinadas por fatores topo e microclimáticos, daí a sua grande variabilidade em uma mesma região, o que dificulta a estimativa a partir de medições gerais, obtidas em estações meteorológicas, sendo assim mais confiável sua medida na área de interesse.

Atualmente, existem diversos sensores para a medida da DPM, desde mecânicos, como o aspergígrafo, até sensores eletrônicos, que simulam uma folha ou fruto (Gillespie & Kidd, 1978; Miranda et al., 2000). Além disso, a DPM pode ser estimada, empregando-se equações de regressão lineares simples e múltiplas, em função dos elementos meteorológicos (temperatura mínima, velocidade do vento, umidade relativa) (Pereira et al., 2002) ou, ainda, métodos mais sofisticados que envolvem o balanço de energia ao nível da comunidade vegetal (Pedro Jr & Gillespie, 1982; Wilson et al., 1999).

Dentre os instrumentos que tem sido desenvolvidos para medir a DPM, destacam-se os tipos eletrônicos que detectam a mudança na resistência ou impedância em função do molhamento do sensor (Gillespie & Kidd, 1978). A grande vantagem desses sensores é que eles possibilitam a aquisição automática de dados. No entanto, a sua operação e a validade de suas medidas exigem cuidados, que muitas vezes não são de conhecimento dos usuários.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho dos sensores de impedância elétrica com grades de circuito impresso, para a medida da DPM, em diferentes condições microclimáticas na cultura do algodoeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental da ESALQ/USP, em Piracicaba, SP, Brasil (Lat.: 22°42'S, Long.: 47°30'W, Alt.: 546m). Foram conduzidas duas variedades de algodoeiro, IAC-23 e Coodetec-401 (Cd-401), em espaçamento de 0,9m entre linhas, e com 5, 10 e 15 plantas por metro linear de plantio.

Em cada uma das seis parcelas experimentais (2 variedades x 3 densidades de plantio) e em uma estação meteorológica padrão no centro da área, foram instalados um psicrômetro aspirado e um sensor de DPM, modelo 237, Campbell Scientific, o qual utiliza o princípio da variação da resistência elétrica conforme a presença ou ausência de água livre em sua superfície (Gillespie & Kidd, 1978).

As variáveis monitoradas: temperatura do ar, umidade relativa e DPM, foram medidas a cada 10 segundos e armazenadas a cada 15 minutos pela

média dos valores, durante todo o ciclo da cultura, de dezembro de 2001 a abril de 2002.

O conjunto sensor (Figura 1) foi situado no centro da parcela, com sua altura regulada de modo a mantê-lo no terço superior das plantas, acompanhando, assim, o crescimento da cultura. Os sensores de DPM foram fixados ao suporte do conjunto com 20° de inclinação em relação à horizontal, conforme recomendação de Gillespie & Kidd (1978).

A obtenção dos dados de DPM foi dividida em dois períodos: a) um de 30 dias com os sensores sem pintura com tinta látex branca; b) e o restante do tempo com os sensores cobertos com tinta látex branca.



Figura 1. Conjunto sensor: psicrômetro aspirado e sensor de DPM, instalado na cultura do algodoeiro.

Os resultados obtidos foram analisados mediante a comparação da DPM antes e após a pintura dos sensores e pela comparação entre a DPM medida e a estimada a partir do número de horas com a umidade relativa (NHUR) acima de 90 e 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período em que os sensores não estavam cobertos com a tinta látex branca, as medidas de DPM foram extremamente desuniformes entre os sete sensores utilizados (6 parcelas e estação padrão). A Figura 2a mostra um exemplo disso, o que confirmou a necessidade da pintura dos sensores com tinta látex branca, prática empregada para dispersar as gotículas de água e proporcionar melhor contato entre os pólos.

Ainda na Figura 2, observa-se que após a pintura dos sensores com tinta látex, as medidas passaram a ser mais coerentes, porém, apresentando ainda inconsistências decorrentes do limiar adotado para se considerar o sensor seco ou úmido. Nota-se que dependendo do limiar considerado (L1=1mV e L2=4mV) a DPM pode variar consideravelmente, como mostra a Figura 2b, embora nas mesmas condições microclimáticas, ou seja, na parcela de 10 plantas por metro. Neste caso, adotando-se L1, a diferença foi de 1,5h entre os dois sensores, enquanto que adotando-se L2 essa diferença chegou a aproximadamente 2h.

Essas diferenças, apesar de mostrarem o que ocorreu em um único dia, indicam um dos problemas associados a esse tipo de sensor de medida da DPM. Esses erros, muitas vezes podem ser grandes demais para se detectar diferenças no microclima, ou mesmo, para se tomar uma decisão, em razão de uma a duas horas a mais de DPM poder indicar condições para a infecção da doença ou para o escape da cultura.

¹Departamento de Ciências Exatas, Setor de Agrometeorologia. ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, 13418-900. Piracicaba-SP, Brasil. ²Bolsista CNPq. ³eduardo@esalq.usp.br. ⁴Bolsista FAPESP.

Embora isso tenha sido observado isoladamente, em um dia utilizado como exemplo, a comparação da média ao longo do ciclo resultou em uma diferença de mais de 3 horas.

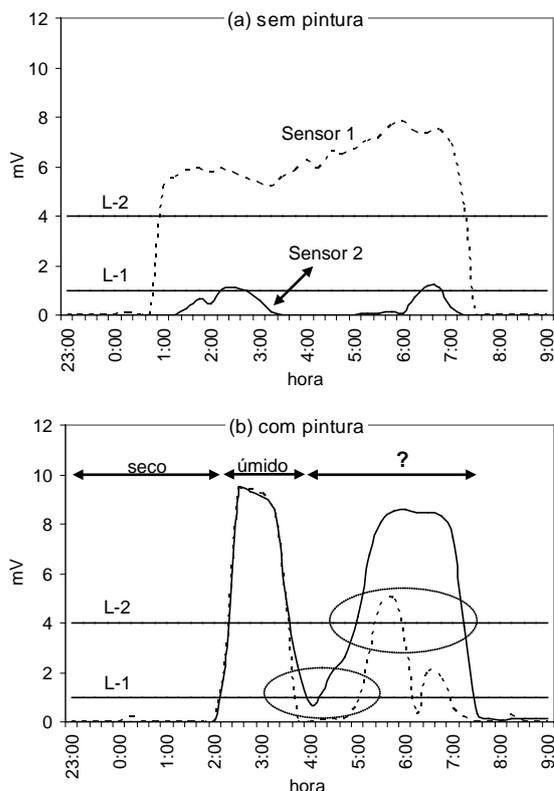


Figura 2: Sinal registrado (mV) de dois sensores de molhamento foliar modelo 237 Campbell Scientific, medidos nas mesmas condições. (a) sem pintura, dia 17/12/2001 e (b) com pintura, dia 17/03/2002.

Segundo o próprio fabricante, a resistência que define a transição entre seco e úmido nos sensores não pintados varia, normalmente entre 50 e 200 kOhms. E o sensor coberto com látex apresenta uma faixa de transição ampla, que varia de 20 a mais de 1000 kOhms.

No entanto, com o mesmo exemplo da Figura 2b, sabendo-se que os sensores são submetidos a 5V de diferença de potencial elétrico entre um pólo e outro, pode-se verificar que a resistência dos sensores em questão varia desde um mínimo de 500, quando molhado, até um máximo arbitrário que depende da umidade da superfície sensível, o que dificulta o estabelecimento de um limiar entre seco e úmido. Isso faz com que haja a necessidade de se determinar o limiar a ser adotado por meio do acompanhamento visual da secagem ou evaporação da água de cada sensor, ou seja, calibrando-o em laboratório.

As áreas em destaque na Figura 2b evidenciam que a resistência elétrica não só difere de um sensor para outro como também não é constante em um mesmo sensor, mesmo em um intervalo curto de tempo. No primeiro pico as duas curvas são praticamente coincidentes, enquanto que no segundo pico, as curvas diferem significativamente, o que, após a transformação do sinal em tempo de molhamento resulta em durações de molhamento diferentes, embora medidas no mesmo ponto.

Essas diferenças ocorreram em todos os sensores utilizados, por diversos dias, e foram as principais causas das divergências de DPM registrada entre os sensores nas mesmas condições microclimáticas (Tabela 1).

Tabela 1: Média de DPM medida pelos sensores e estimada por $NHUR \geq 95\%$ e $NHUR \geq 90\%$, em 30 dias de observações.

Densidade (Plantas/m)	Sensores	DPM (horas)	
		$NHUR \geq 95\%$	$NHUR \geq 90\%$
IAC-23	5	12.1 ab	6.8 b
	10	12.1 ab	7.4 ab
	15	10.6 abc	8.0 a
Cd-401	5	12.8 ab	6.7 b
	10	15.9 a	7.4 ab
	15	13.3 ab	8.3 a
Média		12.8 ab	7.4 a
Est. Met.		10.4 bc	5.3 c

* valores seguidos das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Empregando-se a estimativa da DPM por meio da determinação do $NHUR \geq 90\%$ e $NHUR \geq 95\%$, obtidas pelo psicrômetro aspirado no interior da cultura, foi possível se verificar uma grande coerência entre a densidade de plantio e a DPM, sendo esta maior na densidade de 15 plantas/m, o que, no entanto, não foi detectado pelos sensores eletrônicos de DPM.

Dessa forma, é possível concluir que a resistência elétrica dos sensores de DPM resulta de particularidades próprias de cada sensor e da película de látex utilizada (tipo da tinta, espessura de aplicação, diluição), além do tempo de uso, deposição de sujeira, entre outros fatores.

Para resultados mais precisos, o sensor de DPM deve ser cuidadosamente calibrado em condições de controladas e de campo, uma vez que o ponto de transição entre seco e úmido varia entre os sensores. Nesse processo, o recomendável é acompanhar as leituras do sensor concomitantemente à evaporação progressiva da água aspergida em sua superfície para, quando secar, verificar o valor correspondente. Mesmo avaliando-se a presença de água visualmente, esse procedimento apresenta limitações, dada a dificuldade de se observar com clareza a água que, normalmente, fica absorvida pela camada de tinta. A alternativa, portanto, é chegar a um valor de consenso, aproximado, obtido após diversas observações.

Como comentado acima e exposto na Tabela 1, outro recurso que pode ser utilizado com resultados bastante satisfatórios é a estimativa da DPM a partir da umidade relativa acima de 90%, a qual no entanto também apresenta suas limitações especialmente em dias de muito vento.

BIBLIOGRAFIA

- Gillespie, T. J.; Kidd, G. E. 1978. Sensing duration of leaf moisture retention using electrical impedance grids. *Can. J. Plant Sci.* 58: 179-187.
- Miranda, R.A.C.; Davies, T.D.; Cornell, S.E. 2000. A laboratory assessment of wetness sensors for leaf, fruit and trunk surfaces. *Agric. & For. Meteorology*, 102:263-274.
- Pedro Jr., M.J.; Gillespie, T.J. 1982. Estimating dew duration. I. Utilizing micrometeorological data. *Agric. Meteorology*, 25:283-296.
- Wilson, T.B.; Bland, W.L.; Norman, J.M. 1999. Measurement and simulation of dew accumulation and drying in a potato canopy. *Agric. & For. Meteorology*, 93:111-119.