

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Duração do período de molhamento foliar: medida com sensores eletrônicos,  
variabilidade espacial em culturas e estimativa com modelos empíricos**

**Eduardo Alvarez Santos**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em  
Agronomia. Área de concentração: Física do Ambiente  
Agrícola

**Piracicaba  
2006**

**Eduardo Alvarez Santos**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Duração do período de molhamento foliar: medida com sensores eletrônicos, variabilidade espacial em culturas e estimativa com modelos empíricos**

Orientador:  
Prof. Dr. **PAULO CESAR SENTELHAS**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em  
Agronomia. Área de concentração: Física do Ambiente  
Agrícola

**Piracicaba**  
**2006**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Santos, Eduardo Alvarez

Duração do período de molhamento foliar: medida com sensores eletrônicos, variabilidade espacial em culturas e estimativa com modelos empíricos / Eduardo Alvarez Santos. - - Piracicaba, 2006.  
56 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Chuva 2. Doenças de plantas 3. Epidemiologia 4. Molhamento foliar 5. Orvalho  
6. Variabilidade espacial I. Título

CDD 630.2515

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

*Aos meus pais Geraldo e Regina*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus que é fonte inesgotável de vida, amor e sabedoria.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela oportunidade de realização dos estudos de pós-graduação e pelo fornecimento dos recursos necessários para execução deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas pela amizade, orientação e apoio, indispensáveis à realização desse trabalho. E também pelo incentivo que tornou esta etapa muito mais fácil e com certeza será muito útil nas etapas que virão.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane pela amizade, ensinamentos e incentivo que muito contribuíram para minha formação acadêmica. E também pelo empréstimo de sensores utilizados neste trabalho.

Aos professores do curso de pós-graduação pelos conhecimentos adquiridos.

Aos funcionários Eivaldo Modesto de Abreu e Francisco Bernardo Dias pelo auxílio na coleta de dados dos experimentos de campo. E a todos os outros funcionários que colaboraram para a realização desse trabalho.

Aos colegas José Eduardo B. A. Monteiro e Jorge Lulu pelo auxílio na instalação dos experimentos de campo.

A todos os colegas de pós-graduação pela agradável convivência.

A minha família, especialmente aos meus pais pelo incentivo, dedicação e apoio incondicional. Aos meus irmãos Rogério, Gustavo e Maurício pela amizade. E a todas pessoas da minha família e amigos que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todos os momentos.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	10
2.1 Importância da duração do período de molhamento .....	10
2.2 Medida da duração do período de molhamento.....	11
2.3 Variabilidade espacial da duração do período de molhamento em dosséis vegetativos .....	13
2.4 Estimativa da duração do período de molhamento.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Sensores eletrônicos de medida da duração do período de molhamento .....	16
3.2 Medidas da duração do período de molhamento sobre gramado .....	17
3.3 Avaliação da variabilidade espacial da DPM em cultivos agrícolas .....	20
3.4 Estimativa da duração do período de molhamento.....	22
3.4.1 Coleta de dados meteorológicos .....	22
3.4.2 Descrição dos modelos .....	23
3.4.3 Análise do desempenho dos modelos.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4.1 Medidas de duração do período de molhamento sobre gramado .....	27
4.1.1 Variabilidade entre os sensores de duração do período de molhamento.....	27
4.1.2 Efeito no ângulo de instalação dos sensores cilíndricos na medida da DPM .....	31
4.2 Variabilidade espacial da duração do período de molhamento em culturas agrícolas .....	35
4.3 Estimativa da DPM.....	41
5 CONCLUSÕES .....	50
REFERÊNCIAS .....	52

## RESUMO

### **Duração do período de molhamento foliar: medida com sensores eletrônicos, variabilidade espacial em culturas e estimativa com modelos empíricos.**

A duração do período de molhamento (DPM) é de grande importância para a epidemiologia de doenças de plantas, pois desempenha papel fundamental em alguns processos epidemiológicos. Dessa forma, sua determinação torna-se indispensável para o entendimento da relação entre o clima e doenças de plantas. Sendo assim, este estudo teve como objetivos: definir uma posição padrão de instalação de sensores cilíndricos para a medida da DPM sobre gramado, avaliar a variabilidade espacial dessa variável em três diferentes culturas, relacionar a DPM medida em culturas agrícolas com aquela obtida em posto meteorológico e comparar a estimativa da DPM obtida com modelos empíricos com aquela medida com sensores eletrônicos. Na fase anterior à sua instalação no campo, todos os sensores eletrônicos foram previamente pintados com tinta látex e tratados termicamente. Após essa etapa, os sensores cilíndricos foram instalados sobre gramado a 30 cm de altura voltados para o sul. No período inicial, os sensores cilíndricos foram mantidos paralelos à horizontal, visando-se a avaliar a variabilidade entre os mesmos. Posteriormente, foram testados cinco diferentes ângulos de instalação. As medidas obtidas por esses sensores foram comparadas com a medida padrão, obtida por sensor de placa a 30 cm de altura e 45° de inclinação. Com a finalidade de se avaliar a variabilidade espacial da DPM, sensores eletrônicos de DPM foram distribuídos no dossel de três culturas: algodão, banana e café. As medidas obtidas nessas culturas foram comparadas com as fornecidas por sensor de placa em posição padrão. A estimativa da DPM foi feita por meio dos seguintes modelos:  $NHUR > 87\%$ , CART, DPO e limiar estendido de umidade relativa para os períodos seco e chuvoso. As medidas obtidas por sensores cilíndricos sobre gramado apresentaram boa acurácia e precisão. A variação do ângulo de instalação não demonstrou ter efeito expressivo sobre a medida dos sensores cilíndricos para as condições locais. Contudo, é recomendável inclinar o sensor cilíndrico, uma vez que, trabalhos anteriores demonstram que esse pode superestimar a DPM quando instalado na horizontal. A avaliação da variabilidade espacial da DPM demonstrou que essa variável é influenciada pelas condições determinantes do microclima das culturas. O padrão de variação da DPM foi distinto para cada uma das culturas. Na cultura do algodão não foram observadas variações expressivas da DPM. Já no cafeeiro a DPM foi mais longa nas partes baixas da planta, enquanto que na cultura da banana essa foi mais longa no topo da cultura. Foram obtidas boas relações entre a DPM medida sobre gramado e aquela obtida no topo das culturas, demonstrando que é possível estimar tal variável por meio de dados obtidos em posto meteorológico. Os modelos  $NHUR > 87\%$ , CART e DPO forneceram boas estimativas da DPM com erro absoluto médio variando de 1,4 a 2,8 h nos dois períodos avaliados. Durante a estação seca, os três primeiros modelos tenderam a subestimar a DPM. O modelo do limiar estendido de umidade relativa foi o que apresentou o pior desempenho entre os modelos avaliados, não sendo recomendável sua aplicação para condições semelhantes às deste estudo.

Palavras-chave: Orvalho, chuva, epidemiologia, doenças de plantas, sensor cilíndrico

## ABSTRACT

### **Leaf wetness duration: measurement with electronic sensors, spatial variability in crop canopies and estimation with empirical models.**

Leaf wetness duration (LWD) is a very important variable for plant disease epidemiology, since it plays an important role in some epidemiological processes. So its determination is essential for the understanding of the climate and plant disease relationship. Therefore, the objectives of this study were: to determine the standard deployment for cylindrical LWD sensors over turfgrass; to assess the spatial variability of this variable in three different crops; to relate the LWD measured at three different crop canopies to that obtained in a weather station; and to compare the LWD estimated by empirical model with that measured by electronic sensors. Before the field assessments, all electronic sensors were painted with white latex paint and submitted to a heat treatment. After this first stage, all cylindrical sensors were installed over turfgrass at 30-cm height deployed facing south. Firstly, all cylindrical sensors were deployed at horizontal in order to assess the variability among them. After that, five different deployment angles were tested. The measurements provided by those sensors were compared with the standard measurement, provided by flat plate sensors at 30-cm height and deployed at 45°. In order to assess the LWD spatial variability, electronic sensors were placed in three different crop canopies: cotton, banana and coffee. The measurements obtained in those crops were compared with LWD measured by flat plate sensors in a standard deployment over turfgrass. LWD were estimated using the following models: NHRH>87%, CART, DPD e extended threshold of relative humidity, for the dry and wet seasons. The measurements provided by cylindrical sensors over turfgrass had good accuracy and precision. The change in the angle of sensor deployment had no effect on LWD measured by cylindrical sensors, for the studied conditions. However, cylindrical sensors should not be deployed at horizontal because previous studies showed that they could overestimate LWD when deployed at horizontal. The LWD spatial variability assessment showed that this variable is dependent on the plant and/or crop conditions, which control the canopy microclimate. The pattern of variation of LWD was different for each crop assessed. In the cotton crop, LWD variations were negligible. On the other hand, in the coffee crop LWD was longer in the lower parts of the canopy while in the banana crop it was longer in the top of the canopy. A good correlation between LWD measured over turfgrass and that obtained in the crop top was achieved, which demonstrates that it is possible to estimate LWD using weather station data. The models NHRH>87%, CART, DPD provided good estimates of LWD with mean absolute error ranging from 1.4 to 2.8 h in both dry and wet periods. During the dry season, those models overestimated the LWD. The extended threshold model had the worst performance in relation to the other models, so it is not advised to use this model for similar climate conditions to this study.

Key words: Dew; rainfall; epidemiology; plant disease; cylindrical sensor.



## 1 INTRODUÇÃO

Molhamento foliar é um termo geral utilizado para designar a presença de água na forma líquida sobre a parte aérea dos vegetais. A duração do período de molhamento (DPM) é de grande importância para epidemiologia de doenças de plantas, uma vez que a permanência de água sobre as superfícies vegetais desempenha papel fundamental em alguns processos epidemiológicos tais como a infecção e a esporulação (HUBER; GILLESPIE, 1992).

A DPM não pode ser considerada uma variável unicamente meteorológica, pois além de ser dependente das condições meteorológicas, também está relacionada com propriedades físicas da superfície, composição e estrutura do dossel vegetativo (MADEIRA et al., 2002). Por essa razão, a medida ou estimativa da DPM torna-se mais difícil em relação às demais variáveis meteorológicas. Contudo, a melhoria das técnicas de medida da DPM, quer seja pelo desenvolvimento de novos sensores ou pelo aprimoramento dos aspectos operacionais relacionados à instalação desses, tem possibilitado a obtenção de medidas mais bem correlacionadas com as observações visuais de molhamento (SENTELHAS et al., 2004).

O emprego de sensores eletrônicos facilitou a medida da DPM. Entre as vantagens relacionadas a esse tipo de sensor pode se destacar: a acurácia e precisão de suas medidas, a facilidade de obtenção de dados contínuos e de longo prazo e, em geral, sua simplicidade. Entre os sensores eletrônicos de medida da DPM, o cilíndrico tem uma série de vantagens que o tornam uma boa alternativa para a medida dessa variável. No entanto, alguns estudos indicam que é necessário o estabelecimento de uma posição padrão para sua instalação que assegure a confiabilidade das medidas obtidas (SENTELHAS et al., 2005).

A variabilidade espacial da DPM é outro aspecto importante a ser considerado ao se medir essa variável em cultivos agrícolas. Essa variabilidade é resultante de alterações no microclima das culturas, que possibilitam que algumas partes do dossel vegetativo encontrem-se úmidas enquanto outras se apresentem secas. Isso torna necessária a utilização de sensores instalados em diferentes partes do dossel, para garantir a correta caracterização da DPM nas culturas. Além disso, a variabilidade espacial da DPM tem grande influência no desempenho de modelos de previsão de doenças (DALLA MARTA et al., 2004), de forma que seu estudo é importante para o aprimoramento das medidas e estimativas da DPM em culturas.

A estimativa da DPM pode ser uma opção muito útil quando não se dispõe de medidas. Os modelos existentes utilizam variáveis meteorológicas para a estimativa da DPM. Esses modelos

são, basicamente, agrupados em duas categorias: modelos físicos e modelos empíricos. Os modelos físicos baseiam-se em fundamentos teóricos que governam o acúmulo e a evaporação de água sobre as superfícies vegetais, sendo de aplicação universal, enquanto que os modelos empíricos baseiam-se em relações existentes entre a DPM e variáveis meteorológicas, especialmente a umidade relativa do ar, sendo de aplicação restrita.

Em função da simplicidade de sua construção e de seu baixo custo, os sensores cilíndricos podem ser uma boa alternativa para o monitoramento da DPM, tanto em postos meteorológicos como também nos cultivos agrícolas. A partir da medida da DPM nas culturas é possível identificar as posições onde esta é mais longa e, conseqüentemente, mais propensa à ocorrência de doenças. Os dados obtidos nas culturas também podem ser utilizados para estabelecer relações empíricas entre a DPM medida na cultura e aquela obtida sobre gramado em posto meteorológico, o que representa uma grande vantagem do ponto de vista operacional, uma vez que a medida da DPM em cultivos agrícolas comerciais pode ser muito trabalhosa, além de representar um custo considerável para o produtor. Por outro lado, os modelos empíricos podem fornecer boas estimativas da DPM e, ainda, apresentam vantagens adicionais por geralmente serem mais simples e dependerem de um menor número de variáveis que os modelos físicos.

Face ao exposto, o presente estudo teve os seguintes objetivos: definir uma posição padrão de instalação de sensores cilíndricos para a medida da DPM sobre gramado, avaliar a influência da altura e da arquitetura do dossel de três diferentes culturas na variabilidade espacial dessa variável, relacionar a DPM medida em culturas agrícolas com aquela obtida sobre gramado em posto meteorológico e comparar a estimativa da DPM obtida com modelos empíricos com aquela medida com sensores eletrônicos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importância da duração do período de molhamento

A planta hospedeira, o patógeno e o ambiente constituem-se nos três elementos fundamentais que determinam a ocorrência de uma doença, sua incidência e sua severidade (BERGAMIM FILHO; AMORIM, 1996). Entretanto, o ambiente exerce papel preponderante sobre os demais elementos, uma vez que os influencia. Dentre os fatores ambientais, os elementos climáticos são os mais importantes a influenciar as doenças de plantas e seu desenvolvimento epidêmico (VALE; JESUS JUNIOR; ZAMBOLIM, 2004).

Algumas variáveis meteorológicas desempenham papel importante no processo epidemiológico. A temperatura exerce efeito marcante sobre todos os processos epidemiológicos das doenças de plantas, uma vez que controla a velocidade das relações biológicas. Por outro lado, a chuva e o vento são importantes para a liberação e a dispersão do inóculo (HUBER; GILLESPIE, 1992). Contudo, de acordo com Vale; Jesus Junior e Zambolim (2004), entre as variáveis meteorológicas, a duração do período de molhamento foliar (DPM) é a mais importante para grande parte das doenças de plantas, pois é necessária tanto para o processo de infecção quanto para a esporulação.

A duração do período de molhamento é mais importante para as doenças de plantas que a quantidade de água depositada sobre o tecido vegetal (VALE; JESUS JUNIOR; ZAMBOLIM, 2004). A presença de água na forma líquida em longos períodos sobre as folhas e frutos permite a germinação dos esporos dos fungos e serve de veículo para o processo de penetração do tubo germinativo, sendo que quanto maior a DPM maior é a taxa de infecção (SENTELHAS, 2004). Além disso, de acordo com Huber e Gillespie (1992), a duração do período de molhamento favorece a esporulação e reduz o tempo de colonização do tecido vegetal para alguns fungos.

Entretanto, alguns estudos demonstram que o desenvolvimento e o estabelecimento dos patógenos é dependente do binômio temperatura - DPM (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Coelho et al. (2003), ao estudarem a ocorrência de ferrugem em feijoeiro, observaram que durante o plantio das águas, mesmo sendo observadas DPM mais longas, a severidade da doença foi menor que no inverno, uma vez que as temperaturas no primeiro período não foram favoráveis ao desenvolvimento da doença. Schuh e Adamowicz (1993)

observaram que com DPM entre 6 e 36 h, a ocorrência de septosporiose em soja apresentou uma relação quadrática com a temperatura do ar, sendo que a máxima infecção ocorreu com 25 °C.

O entendimento das relações entre variáveis meteorológicas e a epidemiologia de doenças de plantas pode ser de grande utilidade para o desenvolvimento de modelos de previsão dessas doenças. Vários sistemas de alerta fitossanitário avaliam o risco de infecção das culturas pelo monitoramento da DPM e da temperatura do ar durante o período de molhamento (BERTON; MELZER, 1989; CARISSE; KUSHALAPPA, 1990; HUBER; GILLESPIE, 1992). Esses sistemas permitem uma redução substancial da frequência de pulverizações, que além de diminuir a contaminação dos recursos naturais, pode também retardar o desenvolvimento de resistência nos patógenos aos fungicidas e bactericidas (KIM et al., 2005). Além disso, essa informação possibilita redução dos custos de produção e a obtenção de alimentos mais saudáveis (SENTELHAS, 2004).

## **2.2 Medida da duração do período de molhamento**

O molhamento foliar pode ser causado por água proveniente de orvalho, chuva ou irrigação. O orvalho, por sua vez, pode ser originado por dois processos: a precipitação do orvalho e a destilação do orvalho (ROSEMBERG; BLAD; VERMA, 1983). Segundo Monteith (1963), o primeiro processo ocorre quando o fluxo de vapor que condensa sobre as superfícies vegetais é proveniente da atmosfera, já o segundo processo está relacionado ao fluxo de vapor proveniente do solo. De acordo com Huber e Gillespie (1992), em condições de alta umidade atmosférica, o orvalho é originado principalmente pelo processo de precipitação do orvalho; já sob condições semi-áridas, o orvalho é proveniente principalmente do processo de destilação do orvalho.

A DPM, ao contrário de outras variáveis meteorológicas, não é fácil de ser medida ou estimada. Além de ser dependente das condições meteorológicas, ela também sofre influência de outros fatores, tais como: o tipo e estágio de desenvolvimento da cultura; a posição, o ângulo e a geometria das folhas; e a localização específica de cada folha (SUTTON; GILLESPIE; HILDEBRAND, 1984). Nos últimos anos, vários instrumentos foram desenvolvidos com o objetivo de medir o molhamento foliar (GILLESPIE; KIDD, 1978; SMITH; GILPATRICK, 1980; GILLESPIE; DUAN, 1987; GIESLER; HORST; YUEN, 1996). Esses instrumentos são agrupados, basicamente, em três categorias: estáticos, mecânicos e eletrônicos. Os instrumentos estáticos são geralmente muito rudimentares e não servem para medida da DPM, pois apenas

fornece uma indicação da ocorrência ou não de molhamento foliar. Os instrumentos mecânicos são mais eficientes para a medida da DPM, no entanto, alguns estudos demonstraram que as medidas obtidas por esses equipamentos apresentam baixa correlação com observações visuais (WALLIN, 1963; LOMAS; SHASHOUA, 1970). Recentemente, com a redução do custo de sistemas eletrônicos de aquisição de dados, a utilização de sensores eletrônicos para a obtenção da DPM vem se tornando cada vez maior (GETZ, 1991).

A precisão obtida e a facilidade do registro contínuo dos dados têm contribuído para difundir a utilização dos sensores eletrônicos, os quais são classificados, basicamente, em dois tipos: sensores que apresentam contato direto com o tecido vegetal e sensores do tipo folha artificial. No primeiro tipo, pequenos eletrodos são fixados aos órgãos vegetais. A deposição de água na superfície vegetal provoca redução na resistência elétrica entre os eletrodos, a qual, por sua vez, é registrada num sistema de aquisição de dados (GIESLER; HORST; YUEN, 1996; MADEIRA et al., 2002). Nos sensores do tipo folha artificial, os eletrodos são fixados em estruturas artificiais que simulam partes dos vegetais como, por exemplo, placas de circuito impresso (GILLESPIE; KIDD, 1978; ARMSTRONG; BARTHAKUR; NORRIS, 1993) ou tubos de acrílico (GILLESPIE; DUAN, 1987).

Alguns fatores devem ser levados em conta ao se utilizar sensores eletrônicos para medida da DPM. De acordo com Sentelhas et al. (2004), fatores como a exposição, altura e ângulo de instalação dos sensores têm grande influência na medida da DPM. Por outro lado, Lau et al. (2000) observaram que a pintura dos sensores tem maior influência sobre o desempenho dos sensores do que a exposição e o ângulo de instalação. Gillespie e Kidd (1978), ao estudarem o efeito da cor da tinta látex aplicada sobre sensor de placa de circuito impresso, verificaram que sensores pintados com tinta de cor branca ou cinza-claro apresentaram taxa de secamento semelhante ao de folhas naturais. Segundo os mesmos autores, após a pintura estes devem receber um tratamento térmico com o objetivo de eliminar componentes higroscópicos da tinta látex que são responsáveis pela alteração do sinal dos sensores durante períodos de alta umidade relativa sem que haja, contudo, presença de água na superfície dos sensores.

Atualmente, existem diversos modelos de sensores do tipo folha artificial, os quais apresentam formas e tamanhos variados. Gillespie e Duan (1987) desenvolveram um sensor cilíndrico para a medida da duração do período de molhamento na cultura da cebola. Este sensor é constituído de um tubo de acrílico no qual são enrolados dois fios de níquel formando espirais

paralelas. A deposição de água na superfície do sensor provoca redução da resistência elétrica entre os eletrodos, que é registrada por um sistema de aquisição de dados. Além da sua simplicidade e baixo custo, esse sensor apresenta a vantagem de incorporar vários “ângulos foliares”, pois sua superfície sensível está voltada para as  $2\pi$  direções, possibilitando que este simule melhor algumas partes dos vegetais, tais como os ramos.

Apesar das vantagens mencionadas indicarem que o sensor cilíndrico possa ser utilizado para medida da DPM, alguns estudos indicam que o mesmo seja utilizado com precaução. Gillespie e Duan (1987), utilizando sensores cilíndricos para medida da DPM na cultura da cebola, instalados na posição vertical, verificaram que a DPM obtida por meio desse sensor foi, em média, 2 a 3 horas mais curta que aquela medida por sensor de placa. Por outro lado, Sentelhas; Gillespie e Santos (2005), ao utilizarem sensores cilíndricos instalados na horizontal, para medida da DPM sobre gramado e em diferentes culturas, observaram que a DPM média obtida foi em torno de 2 horas superior àquela medida por sensor de placa, em posição padrão. De acordo com os mesmos autores, essa superestimativa da DPM está relacionada com a formação de gotas com tamanho considerável na superfície inferior do sensor cilíndrico, as quais demandam mais energia e, conseqüentemente, mais tempo para evaporar.

### **2.3 Variabilidade espacial da duração do período de molhamento em dosséis vegetativos**

Além dos aspectos operacionais relacionados à medida da DPM, a variabilidade espacial do microclima nos dosséis vegetativos é outro fator a ser considerado na determinação da DPM em cultivos agrícolas. O microclima nas comunidades vegetais é influenciado por fatores como: área foliar, estrutura das plantas, sistema de plantio ou distribuição das plantas no campo, altura das plantas, entre outros fatores (MONTEITH; UNSWORTH, 1990). Variáveis microclimáticas, por sua vez, têm influência nos processos de condensação e evaporação de água das superfícies vegetais e, conseqüentemente, na DPM.

Alguns estudos indicam que a variabilidade espacial da DPM pode ser maior ou menor, dependendo da cultura. Wittich (1990) observou que a DPM é mais longa no topo do dossel de macieira do que na sua parte inferior. Sentelhas et al. (2005) encontraram DPM uma hora mais longa para o topo da cultura do milho do que na sua porção inferior; contudo, não observaram diferenças significativas na DPM medida em diferentes posições dos dosséis das culturas de café e uva. Essas diferenças nos valores de DPM podem ter implicações práticas em sistemas de alerta

fitossanitário. Dalla Marta et al. (2004), ao simularem a severidade do míldio da videira por meio do modelo PLASMO, observaram que a severidade estimada com a DPM obtida no interior do dossel tendia a ser menor do que a severidade observada. Por outro lado, o cálculo da severidade com a DPM medida fora do dossel conduzia a uma pequena superestimativa da severidade.

Diversos fatores, incluindo variáveis meteorológicas, características das folhas, estrutura do dossel e redistribuição de água, são responsáveis pela variabilidade da DPM no dossel vegetativo (HUBER; GILLESPIE, 1992). Assim, esses resultados comprovam a necessidade de utilização de sensores instalados em diferentes posições no dossel para que se possa caracterizar satisfatoriamente a DPM em cultivos agrícolas, visando à identificação da posição em que a DPM é mais longa.

#### **2.4 Estimativa da duração do período de molhamento**

Apesar de sua importância para o manejo de doenças de plantas, a medida da DPM em cultivos comerciais é uma prática pouco difundida. Mesmo nas estações meteorológicas padrões, ainda são poucas aquelas que contam com a medida dessa variável. Além disso, mesmo quando as medidas de DPM estão disponíveis, elas geralmente não representam o que ocorre em locais relativamente distantes das estações meteorológicas (RAO; GILLESPIE; SCHAAFSMA, 1998). Por essa razão, diversos modelos de estimativa da DPM, baseados em variáveis meteorológicas, têm sido desenvolvidos (PEDRO JUNIOR; GILLESPIE, 1982a,b; GLEASON et al., 1994; MADEIRA et al., 2002; KIM et al., 2005).

Os modelos empregados na estimativa da DPM podem ser agrupados em duas classes: físicos e empíricos (HUBER; GILLESPIE, 1992). Os modelos que levam em consideração o balanço de energia são denominados de modelos físicos, pois se baseiam na modelagem dos processos energéticos relacionados à formação e evaporação do orvalho (MADEIRA et al., 2002). Por meio desses modelos, é possível se estimar a DPM, com dados provenientes de estações meteorológicas, com um erro inferior a 1 h (PEDRO JUNIOR; GILLESPIE, 1982b; MADEIRA et al., 2002). Além disso, os modelos físicos têm como grande vantagem a sua transportabilidade, isto é, podem ser utilizados em locais com diferentes tipos de clima sem que haja necessidade de se aplicar ajustes para cada um deles. No entanto, a maioria dos modelos físicos envolve complexos procedimentos de cálculo e necessita de muitas variáveis de entrada, o que dificulta sua utilização (KIM et al., 2005).

Os modelos empíricos, por sua vez, utilizam variáveis meteorológicas e métodos estatísticos para estimar a DPM. Esses modelos têm como principal vantagem sua simplicidade, requerendo poucas variáveis de entrada para estimar a DPM. No entanto, eles têm a desvantagem de serem restritos ao local ou clima para o qual foram desenvolvidos. O modelo que considera o número de horas com umidade relativa (NHUR) acima de determinado valor é um exemplo de um modelo empírico bastante simples empregado na estimativa da DPM. Nesse modelo, a DPM é considerada igual ao número de horas em que a umidade relativa permaneceu acima de determinado valor, que geralmente é igual a 90%. No entanto, a acurácia desse modelo quase sempre não é satisfatória (GLEASON et al., 1994). Recentemente, alguns trabalhos têm sido realizados visando à melhoria do desempenho dos modelos empíricos. Kruit et al. (2004) obtiveram boa performance do modelo NHUR com a utilização de limiar arbitrário associado à um limiar estendido de variação da umidade relativa. Esse modelo apresentou melhor desempenho que o modelo do  $NHUR > 87\%$  e modelos físicos, para as condições da Holanda.

Gleason et al. (1994) propuseram um modelo empírico de estimativa da DPM no qual um procedimento não paramétrico de classificação, denominado CART, foi utilizado para identificar os limiares de velocidade do vento, depressão do ponto de orvalho e umidade relativa a partir dos quais a deposição de orvalho é mais provável. Esse modelo, em geral, foi capaz de estimar a DPM com um erro médio inferior a 1 h para as condições do meio-oeste americano. Contudo, Kim et al. (2005), ao utilizarem o modelo CART para estimativa da DPM na Costa Rica, verificaram que seu desempenho era variável de acordo com a estação do ano, indicando problemas de transportabilidade no modelo.

Sentelhas (2004), ao estimar a DPM na cultura do algodão por meio de modelos físicos e empíricos, observou que o desempenho de modelos empíricos, como os baseados na depressão da temperatura do ponto de orvalho e na umidade relativa, era comparável à performance de modelos mais complexos, como o de Penman-Monteith. Rao; Gillette e Schaafsma (1998), ao utilizarem modelos empíricos, baseados na umidade relativa, para estimar a DPM para espigas de milho, obtiveram acurácia tão boa quanto as estimativas feitas por modelos físicos mais complexos. Esses resultados demonstram que os modelos empíricos, apesar de suas limitações, são uma boa ferramenta para estimativa da DPM, principalmente em locais onde a disponibilidade de dados inviabiliza a utilização de modelos mais complexos.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Sensores eletrônicos de medida da duração do período de molhamento

As medidas da duração do período de molhamento (DPM) foram feitas com sensores cilíndricos produzidos pela Rede Meteorológica de Ontário da Universidade de Guelph, Ontario, Canadá, e sensores de placa plana, modelo 237, da marca Campbell Sci (Figura 1). O sensor cilíndrico é constituído de um tubo de acrílico de aproximadamente 20 cm de comprimento e 1,2 cm de diâmetro, no qual são enrolados dois fios de níquel formando duas espirais paralelas (GILLESPIE; DUAN, 1987). Já o segundo modelo do sensor, é constituído de uma placa de circuito impresso de um milímetro de espessura com dois pentes de cobre intercalados cobertos com um filme de ouro, com a finalidade de evitar oxidação. O princípio de funcionamento dos dois sensores é o mesmo e baseia-se na redução da resistência elétrica entre os fios ou pentes, decorrente da deposição de água na superfície do sensor.



(a)



(b)

Figura 1 – Sensores eletrônicos para a medida da duração do período de molhamento (DPM): cilíndricos (a) e de placa plana (b)

Antes de se realizar as medidas de campo, os sensores foram pintados com tinta látex branca, visando a aumentar a sensibilidade do sensor ao molhamento e simular as propriedades ópticas das folhas, de acordo com recomendação de Gillespie e Kidd (1978) e Sentelhas, Monteiro e Gillespie (2004). Após a pintura, os sensores foram submetidos a tratamento térmico em estufa (~ 65 °C por 12h), conforme sugerido por Gillespie e Duan (1987). Após essa etapa,

foram realizados testes em laboratório para se determinar o valor crítico de resistência, expressa pela razão entre a voltagem medida e a voltagem de excitação enviada ao sensor ( $V_s/V_x$ ), a partir do qual os sensores seriam considerados molhados. O valor crítico adotado correspondeu ao valor imediatamente superior ao maior valor de  $V_s/V_x$  apresentado pelo sensor cilíndrico quando este se encontrava seco. Adicionalmente, foi realizada avaliação para assegurar que todos os sensores apresentassem tempo de resposta semelhante à deposição de água em sua superfície. O teste do tempo de resposta consistiu na deposição de uma pequena gota de água ( $\phi \cong 1$  mm) sobre a superfície dos sensores, quando estes se apresentavam completamente secos, e registro do tempo que cada sensor levou para atingir o valor crítico de resistência definido, sendo este procedimento repetido quatro vezes para cada sensor. Em seguida, calculou-se a média e o desvio padrão do tempo de resposta para cada sensor.

### **3.2 Medidas da duração do período de molhamento sobre gramado**

As medidas da DPM, assim como das demais variáveis meteorológicas, foram obtidas sobre gramado no posto agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP (22° 43’S, 47° 30’W, 546 m).

Todos os sensores de DPM foram instalados voltados para o sul e a uma altura de 30 cm sobre gramado, conforme recomendação de Sentelhas et al. (2004). Foram utilizados dez sensores cilíndricos para medida da DPM. Esses sensores foram fixados por garras metálicas de modo a permitir a variação de seus ângulos em relação à horizontal. Num período inicial, de 40 dias, todos os sensores cilíndricos foram mantidos paralelos à horizontal (ângulo de inclinação igual a 0°) com o objetivo de se verificar a variabilidade entre os mesmos. Após esse período, foram testados os seguintes ângulos de instalação para os sensores: 0°, 15°, 30°, 45° e 60°, adotando-se duas repetições para cada ângulo (Figura 2). A altura dos sensores foi regulada de forma a mantê-los, em média, a uma altura de 30 cm da superfície gramada, tomando-se como referência o ponto médio do comprimento dos sensores.

Dois sensores de placa plana foram fixados em tubos de PVC com ângulo de 45° com a horizontal. Sentelhas et al. (2004) observaram que nesta posição de instalação as medidas da DPM obtidas por sensores de placa plana apresentaram melhor correlação com as observações visuais. Assim, nesse estudo, as medidas feitas por este sensor foram adotadas como medidas de

referência, para fins de comparação. A DPM foi totalizada para períodos de 24 horas, iniciando-se às 12:15 h do dia “n” e encerrando-se às 12:00 h do dia “n + 1”.

Além das medidas de DPM, foram realizadas medidas da temperatura e umidade relativa do ar a 0,3 e a 1,5 m de altura. Essas variáveis foram obtidas por um psicrômetro aspirado de termopar (cobre-constantan) a 0,3 m de altura e por um sensor capacitivo (1,5 m), modelo HPM35C da marca Vaisala. Todos os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados, modelo CR23X da marca Campbell Sci, programado para realizar leituras dos sensores a cada 5 segundos. A cada 15 minutos foram obtidos dados médios da temperatura, umidade relativa e do sinal lido em cada sensor de DPM, além do histograma com a porcentagem de tempo em que cada sensor de DPM permaneceu molhado. Por meio dos dados médios dos sinais registrados para cada sensor foram determinados novos valores críticos de resistência nas condições de campo.

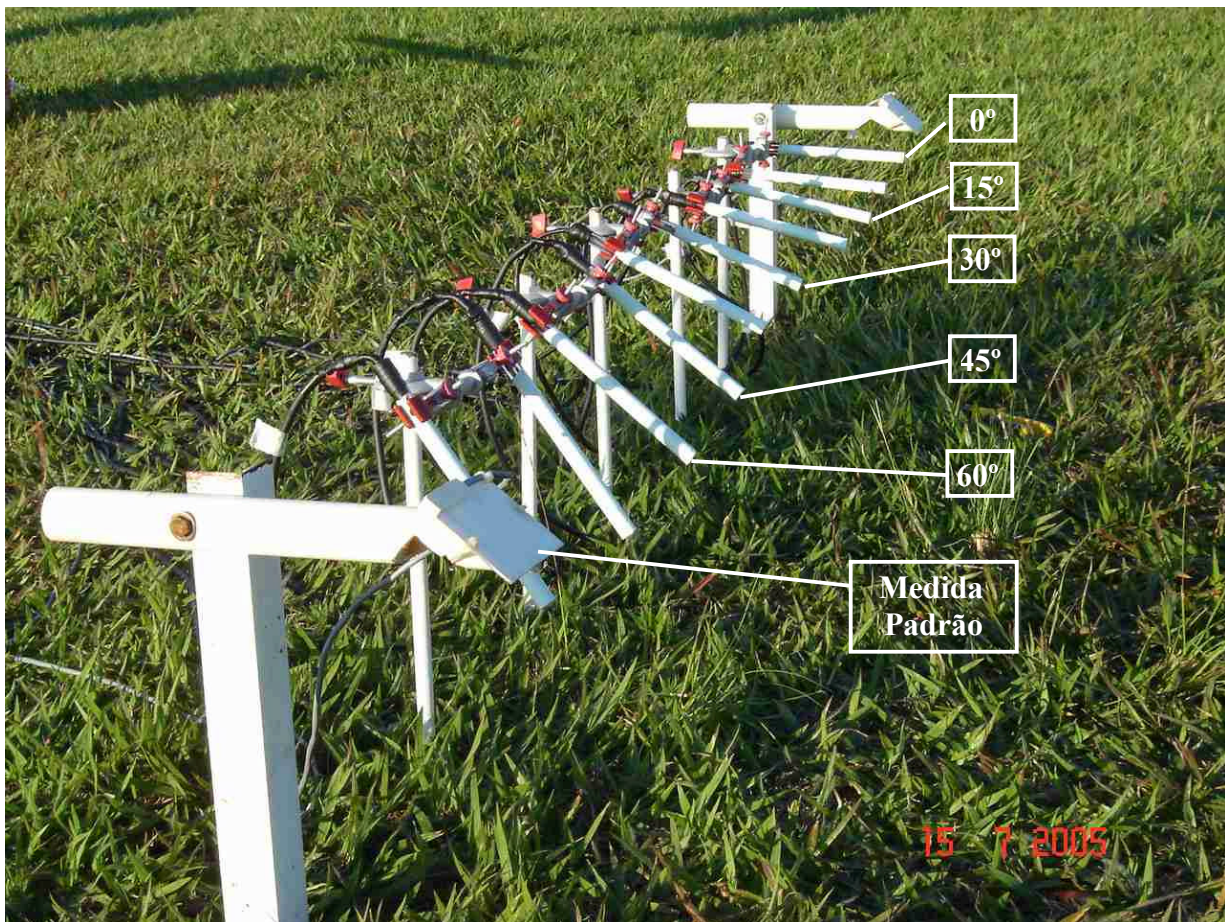


Figura 2 – Sensores cilíndricos instalados em diferentes ângulos em relação a horizontal e sensor de placa instalado a 45°. Todos os sensores de DPM foram instalados a uma altura de 30 cm acima da superfície gramada. Piracicaba, SP, 2005

A variabilidade da DPM entre os sensores cilíndricos foi avaliada por meio do desvio padrão (SD), do coeficiente de variação (CV%), da diferença absoluta média (DAM) e da diferença média (DM) em relação à DPM média obtida pelos sensores cilíndricos:

$$SD = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \quad (1)$$

em que:  $x_i$  é a DPM obtida pelo sensor ou o horário do início ou do final do molhamento e  $\bar{x}$  é a média das observações;

$$CV\% = \left( \frac{SD}{\bar{x}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

em que:  $SD$  é o desvio padrão da DPM diária e  $\bar{x}$  a DPM média diária;

$$DAM = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (3)$$

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{n} \quad (4)$$

em que:  $x_i$  é a DPM medida pelo sensor cilíndrico.

Os dados obtidos para cada ângulo de instalação, bem como aqueles obtidos pelos sensores de placa plana, foram submetidos à análise de regressão, visando a identificar as diferenças entre as medidas da DPM. A precisão das medidas foi expressa pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), enquanto a exatidão das medidas pelos sensores cilíndricos foi determinada pelo índice de concordância de Willmot (D), expresso pela seguinte equação:

$$D = 1,0 - \left\{ \frac{\sum (O_i - P_i)^2}{\sum (|P_i - O_m| + |O_i - O_m|)^2} \right\} \quad (5)$$

em que:  $P_i$  é a DPM medida pelos sensores cilíndricos,  $O_i$  a DPM medida pelos sensores de placa e  $O_m$  a DPM média medida por sensores de placa.

### 3.3 Avaliação da variabilidade espacial da DPM em cultivos agrícolas

Sensores eletrônicos de DPM foram instalados com distribuição uniforme no dossel três culturas, com diferentes características estruturais: algodão, café e banana (Figura 3). Os experimentos foram conduzidos na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, SP. No período anterior à instalação dos sensores nas culturas, estes foram instalados sobre gramado em posto meteorológico com a finalidade de se ajustar um limiar para cada sensor, permitindo-se avaliar e minimizar a variabilidade entre os mesmos. Concomitantemente às medidas da DPM nas três culturas, foram realizadas medidas de DPM para fins de comparação no posto meteorológico por meio de um sensor de placa em posição padrão de instalação, conectado a um sistema de aquisição de dados modelo CR10 da marca Campbell.

Sensores de DPM foram instalados em cultivo de algodão com linhas espaçadas a 1,0 m entre si e orientadas no sentido noroeste-sudeste (Figura 3a). A medida da DPM foi obtida por meio de sensores cilíndricos instalados a 15° com a horizontal com seu maior comprimento voltado para o sul. As medidas de DPM na cultura algodão foram realizadas em duas posições, no terço inferior e no topo do dossel, sendo utilizados dois sensores para cada posição. Na fase inicial da cultura, os dois sensores foram instalados a 25 cm de altura, perpendicularmente à linha de plantio. Com o desenvolvimento das plantas, a altura de um dos pares de sensores foi ajustada de modo que esse permanecesse próximo ao topo da cultura. Os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados, modelo SIMAD, da marca Autsens. As medidas foram realizadas no período de 29/11/2005 a 14/02/2006, totalizando 78 dias de medidas.

Também foram realizadas medidas de DPM em cafezal (Figura 3c), cv. Obatã com aproximadamente 4 anos de idade, com linhas orientadas no sentido noroeste-sudeste e espaçadas 3,5 m entre si. A DPM foi medida em uma planta de café de 1,6 m de altura em seis diferentes posições: no terço inferior da planta, a 35 cm altura e em ambos os lados da planta; no terço médio da planta, a 100 cm de altura, nas laterais e no interior da planta; e a 165 cm de altura, no topo do dossel. Em cada posição foram instalados dois sensores de placa. Esses sensores foram instalados em ambos os lados da planta, sendo posicionados próximos às folhas e orientados nas direções nordeste e sudoeste. Já o sensor instalado no topo do dossel foi orientado no sentido sudoeste. Os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados, modelo CR7 da marca Campbell Sci. Os dados de DPM foram obtidos entre os dias 01/04 a 23/06/2006 totalizando 74 dias de medidas.



(a)



(b)



(c)

Figura 3 - Sensores eletrônicos para medida da duração do período de molhamento (DPM) nas culturas do algodão (a), da banana (b) e do café (c). Piracicaba, SP, 2006

Finalmente, a DPM foi medida em um bananal (Figura 3b), em uma planta com 4 m de altura em um sistema com linhas espaçadas em 3 m e orientadas no sentido norte-sul. A DPM foi medida em duas diferentes posições: no terço médio da planta, a 2,3 m de altura, próximo à inserção da primeira folha; e no terço superior da planta, a 3,3 m de altura, próximo à face superior das folhas mais altas. Foram utilizados quatro sensores cilíndricos para cada posição, instalados com  $15^\circ$  de inclinação com a horizontal e com maior comprimento voltado para o sentido oeste. Para a coleta dos dados, foi utilizado um sistema de aquisição de dados modelo

CR10 da marca Campbell Sci. As medidas foram feitas no período de 30/05 a 13/07/2006, totalizando 45 dias de medidas.

A porcentagem do tempo em que cada sensor permaneceu molhado foi obtida para intervalos de 15 min. A DPM foi totalizada para períodos de 24 horas, iniciando-se às 12:15 h do dia “n” e encerrando-se às 12:00 h do dia “n + 1”. As diferenças entre as diversas posições do dossel das culturas foram obtidas pela diferença absoluta média (DAM), que indica a magnitude da diferença média, e pela diferença média (DM), que descreve a direção da diferença predominante, sendo calculadas pelas Equações 3 e 4, respectivamente. A relação entre os dados de DPM obtidos no posto com aqueles obtidos nas culturas foi estabelecida por meio de análise de regressão, sendo a significância dos coeficientes das equações determinada pelo teste t a 5% de probabilidade.

### 3.4 Estimativa da duração do período de molhamento

#### 3.4.1 Coleta de dados meteorológicos

As variáveis meteorológicas necessárias à estimativa da DPM foram obtidas em posto meteorológico durante 93 dias na estação seca (julho a outubro de 2005) e 90 dias na estação chuvosa (dezembro de 2005 a março de 2006) em Piracicaba, SP (Tabela 1). A temperatura do ar e a umidade relativa foram medidas por sensor capacitivo, modelo HMP35C, da marca Vaisala. A velocidade do vento foi obtida com um anemômetro, modelo 03001-L, da marca Young. A precipitação foi medida com um pluviômetro de balança, modelo TE525WS-L, da marca Texas. Também foi medida a DPM com sensor de placa plana em posição padrão sobre gramado (30 cm de altura, ângulo de 45° voltado para o sul), que serviu de base para a avaliação do desempenho dos modelos. Todos os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados modelo CR10 da marca Campbell Sci, programado para leitura dos sensores a cada 5 segundos e saída de dados a cada 15 min.

Tabela 1 - Condições climáticas durante as estações seca (julho a outubro de 2005) e chuvosa (dezembro de 2005 a março de 2006) em Piracicaba, SP

Estação	n	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do vento (ms <sup>-1</sup> )	Precipitação total (mm)
Seca	93	20,0	73,3	1,4	107,8
Chuvosa	90	24,1	81,2	1,0	501,0

### 3.4.2 Descrição dos modelos

As estimativas da DPM foram obtidas por meio de quatro modelos empíricos: o modelo do número de horas com umidade relativa acima 87% (NHUR>87%); modelo do limiar estendido de umidade relativa que é baseado no número de horas com umidade relativa acima de 87%, porém com limite variável de acordo com um fator arbitrário de variação da umidade relativa ao longo do tempo; o modelo da árvore de classificação e regressão (CART) e o modelo da depressão do ponto do orvalho (DPO). A descrição de cada um desses modelos é apresentada a seguir:

a) O modelo do NHUR > 87% é um modelo empírico bastante simples que se baseia no fato de que a presença de água líquida nas superfícies está relacionada, geralmente, com a ocorrência de valores elevados de umidade relativa (UR). A DPM é estimada por meio da totalização do intervalo de tempo em que a UR permanece acima de determinado valor arbitrário, definido nesse estudo como sendo igual a 87%.

b) O modelo do limiar estendido de umidade relativa consiste em uma adaptação do primeiro modelo, proposta por Kruit et al. (2004). Além da contabilização do número de horas em que a umidade relativa encontra-se acima de 87%, assume-se que para valores de UR entre 70 e 87%, ocorre molhamento sempre que a umidade relativa aumentar mais de 3% em 30 minutos. A superfície é considerada seca quando os valores de umidade relativa nessa faixa sofrerem redução maior que 2%. Para valores de UR abaixo de 70% assume-se que não ocorre molhamento foliar.

c) O modelo da árvore de classificação e regressão (CART) é uma árvore binária de classificação hierárquica que utiliza a depressão do ponto de orvalho (DPO), velocidade do vento (U) e umidade relativa (UR) para estimar a DPM. Por meio de regras de decisão para cada variável é possível se determinar a presença ou não de molhamento num dado intervalo de tempo, que neste trabalho foi igual a 15 min (GLEASON et al., 1994), como demonstrado na (Figura 4), empregando-se as equações 6 e 7:

$$(1,6064 T^{0,5} + 0,0036 T^2 + 0,1531 UR - 0,4599 U * DPO - 0,0035 T * UR) > 14,46 \quad (6)$$

$$(0,7921 T^{0,5} + 0,0046 UR - 2,3889 U - 0,039 T * U + 1,0613 U * DPO) > 37,00 \quad (7)$$



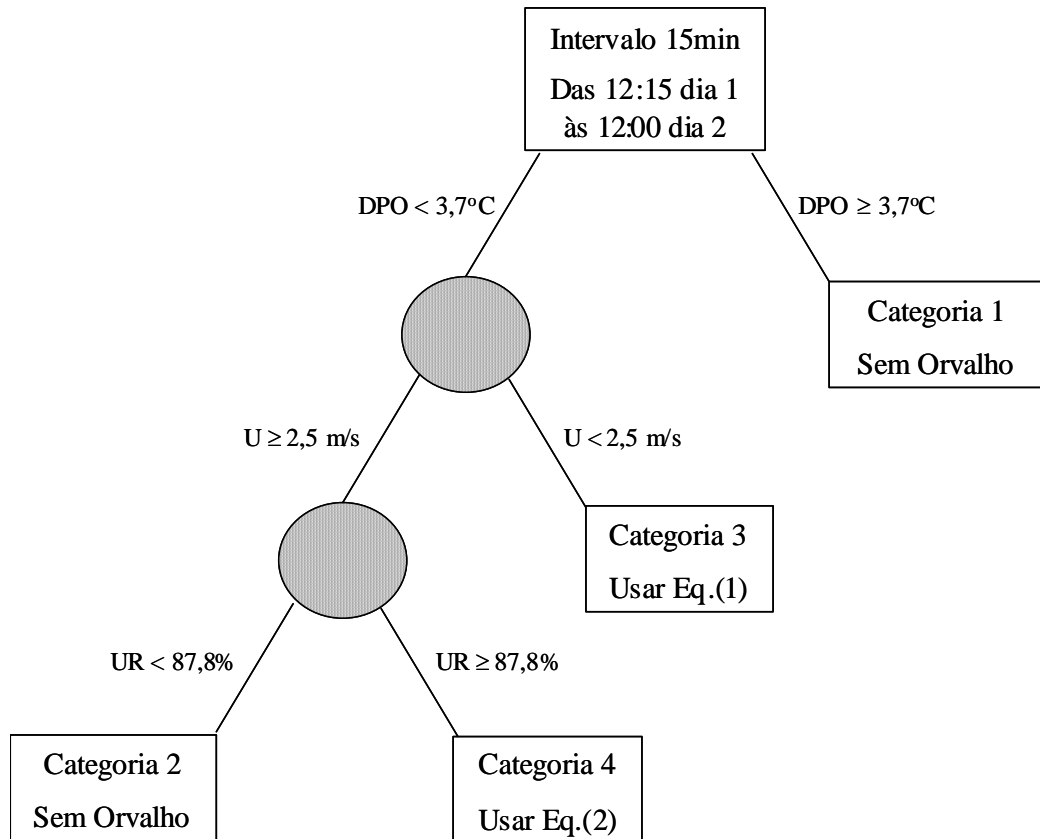


Figura 4 - Árvore de classificação para a estimativa da duração do período de molhamento. Fonte : Gleson et al. (1994), adaptado por Sentelhas (2004)

d) O modelo da depressão do ponto do orvalho (DPO) foi sugerido por Gillespie, Srivastava e Pitblado (1993) e baseia-se na diferença entre a temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho para estimativa da DPM. A DPM é estimada como sendo o intervalo de tempo em que a DPO permaneceu entre dois limites específicos. Sentelhas (2004) encontrou que a DPO mais satisfatória para que o molhamento ocorra é de 2,0 °C, enquanto que para o secamento esse valor deve ser de 3,8 °C.

### 3.4.3 Análise do desempenho dos modelos

As estimativas da DPM, obtida pelos quatro modelos, e as medidas dessa variável com sensores eletrônicos foram comparadas por meio da análise de regressão, pelo índice de concordância de Willmot (D) (Eq. 5), por meio do índice de confiabilidade (C) e pela avaliação

dos erros: médio (EM), absoluto médio (EAM) e erro máximo (EMAX), os quais foram obtidos pelas seguintes equações:

$$C = D \cdot \sqrt{R^2} \quad (8)$$

em que: D é o índice de concordância de Willmot e  $R^2$  é o coeficiente de determinação;

$$EM = \frac{\sum (P_i - O_i)}{N} \quad (9)$$

$$EAM = \frac{\sum |P_i - O_i|}{N} \quad (10)$$

$$EMAX = MAX(P_i - O_i) \quad (11)$$

em que:  $P_i$  é a DPM estimada,  $O_i$  a DPM medida e  $O_m$  a DPM média medida.

Na comparação dos quatro métodos, também foi utilizado um sistema de pontuação estatística. Tal sistema avaliou os modelos considerando-se intervalos de 15 min e a seguinte tabela de contingência (Tabela 2):

Tabela 2 - Tabela de contingência para a avaliação dos modelos de estimativa do molhamento foliar

Medida \ Estimativa	Com molhamento	Sem molhamento
	Com molhamento	A
Sem molhamento	C	D

Fonte: Wilks (1995)

A tabela de contingência é utilizada da seguinte forma: se um método prevê corretamente a presença de molhamento, um ponto é adicionado à célula A. Se um método não prevê o molhamento, enquanto este é observado, um ponto é atribuído à célula B. Se um método indica molhamento, quando ele não ocorre, um ponto é adicionado à célula C. E se um método prevê corretamente a ausência de molhamento, um ponto é somado à célula D. A razão entre o número de pontos em cada célula e o número total de ocorrências fornece a proporção referente a cada célula. Estas proporções são utilizadas para o cálculo de alguns índices que foram empregados na avaliação do desempenho dos modelos.

O índice de previsões corretas (IPC) foi obtido pela seguinte equação:

$$IPC = p(A) + p(D) \quad (12)$$

em que:  $p(A)$  é a proporção das pontuações obtidas na célula A e  $p(D)$  a proporção das pontuações obtidas na célula D. Quanto mais próximo de uma unidade for o valor desse índice, melhor é o desempenho do modelo.

O índice de falso alarme (IFA) representa a fração das falsas previsões de ocorrência de molhamento, sendo calculado por:

$$IFA = \frac{p(C)}{p(A) + p(C)} \quad (13)$$

em que:  $p(C)$  é a proporção das falsas previsões de molhamento e  $p(A) + p(C)$  é a proporção total das previsões de ocorrência de molhamento. Quanto menor for esse índice, melhor é a performance do modelo.

O erro de previsão (EP) foi obtido pela seguinte equação:

$$EP = \frac{p(A) + p(C)}{p(A) + p(B)} \quad (14)$$

em que:  $p(A) + p(C)$  é a proporção total de ocorrências de molhamento e  $p(A) + p(B)$  é a proporção real de ocorrências de molhamento. Um erro menor que 1 indica que o modelo subestimou o número de eventos. Quando seu valor for maior que 1, há superestimativa do número de eventos. O ideal é que o valor desse índice seja o mais próximo possível de 1.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Medidas de duração do período de molhamento sobre gramado

#### 4.1.1 Variabilidade entre os sensores de duração do período de molhamento

A partir da análise preliminar, realizada em laboratório, por meio da observação do valor do sinal obtido pelos sensores de DPM quando estes se encontravam secos, foi determinado um limiar ou valor crítico de resistência, expresso pela razão  $V_s/V_x$ , a partir do qual os sensores seriam considerados molhados. O valor crítico de  $V_s/V_x$  obtido foi igual a  $0,12 \times 10^{-3}$  e  $0,30 \times 10^{-3}$  para os sensores de placa e cilíndricos, respectivamente. Todos os sensores de DPM apresentaram tempo de resposta satisfatório à deposição de água na sua superfície em condições de laboratório (Tabela 3). A média do tempo de resposta para os sensores de placa foi igual a 12 s, com desvio padrão de 4 s para ambos os sensores. Os sensores cilíndricos, por sua vez, necessitaram de um intervalo de tempo maior para indicar a deposição de água na sua superfície, apresentando média de tempo de resposta igual a 73 s.

Tabela 3 - Tempo de reposta e desvio padrão do tempo de resposta (SD) para sensores de placa (P1 e P2) e sensores cilíndricos (0\_1 a 60\_2), empregados na medida da duração do período de molhamento. Piracicaba, SP, 2005

Sensor	Tempo de resposta médio (s)	SD (s)	Sensor	Tempo de resposta médio (s)	SD (s)
P1	16	4	30_1	36	3
P2	9	4	30_2	184	40
0_1	24	8	45_1	37	5
0_2	119	34	45_2	65	50
15_1	54	36	60_1	102	39
15_2	32	18	60_2	77	63

Inicialmente, a medida da DPM obtida pelos sensores cilíndricos sobre gramado apresentou grande variabilidade. O aumento da variabilidade entre os sensores pode estar relacionado com o fato de que o início do período de molhamento, na ausência de chuva e em condições de campo, se dá com a condensação de uma pequena quantidade de água na superfície do sensor, diferentemente do teste de reposta realizado em laboratório, no qual foi depositada uma maior quantidade de água. A adoção de limiares diferentes resultou em melhoria da precisão e acurácia, expressas pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e pelo índice de concordância de Willmott (D),

respectivamente, para maioria dos sensores cilíndricos (Tabela 4). Contudo, não foi observada necessidade de alteração do limiar para os dois sensores de placa e para alguns sensores cilíndricos. A variabilidade no sinal dos sensores pode estar relacionada com a falta de uniformidade na construção e principalmente na pintura dos sensores, o que resultou em diferenças no valor do sinal e no tempo de resposta, especialmente em condições de campo, onde ocorre condição crítica de molhamento. A adoção de um limiar específico para cada um dos sensores tem algumas implicações práticas, como por exemplo, o aumento das linhas de programação destinadas à contabilização da percentagem do tempo em que o sensor permanece molhado. No entanto, apesar desse inconveniente, essa medida pode ser vantajosa para casos em que a adoção de um limiar para cada sensor resulte em melhoria da medida da DPM.

Tabela 4 - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e índice de concordância de Willmott (D) para a duração do período de molhamento (DPM) obtida pelos sensores cilíndricos adotando-se um limiar fixo para todos os sensores e um limiar variável para cada sensor, tomando-se como referência a medida de DPM obtida por sensor de placa em posição padrão. Piracicaba, SP, 2005

Sensor	Limiar fixo		Limiares variáveis	
	$R^2$	D	$R^2$	D
0_2	0,731	0,839	0,896	0,957
15_1	0,720	0,794	0,870	0,959
15_2	0,693	0,798	0,851	0,956
30_1	0,876	0,966	0,893	0,971
45_1	0,886	0,952	0,892	0,962
45_2	0,883	0,960	0,918	0,968
60_2	0,780	0,920	0,807	0,942

Os sensores cilíndricos apresentaram coeficiente de variação entre 3,2% e 33,7%, com média igual a 9,7%, para o período em que todos permaneceram na posição horizontal (Figura 5). Do total dos dias analisados, 35% deles apresentaram coeficiente de variação acima da média, o que, no entanto, não se traduz, necessariamente, em aumento da variabilidade entre os sensores, já que este índice apresenta relação inversa com a média das observações. Para os dias em que a DPM média foi baixa, houve uma tendência de valores de coeficiente de variação mais elevados, mesmo que isso não seja acompanhado por um aumento no desvio padrão entre os sensores. Por outro lado, em dias chuvosos, quando a DPM média foi maior, o coeficiente de variação tendeu a ser menor. Resultados semelhantes foram obtidos por Sentelhas; Monteiro e Gillespie (2004) que encontraram valores de CV% variando de 0 a 31,2% e coeficiente de variação médio igual a 9,2% para sensores de placa pintados com tinta látex branca em Piracicaba, SP. Sentelhas et al.

(2004), por sua vez, encontraram coeficiente de variação igual a 2,35% para sensores de placa instalados a 30 cm de altura e com 30° graus de inclinação em Elora, Ontário, Canadá.

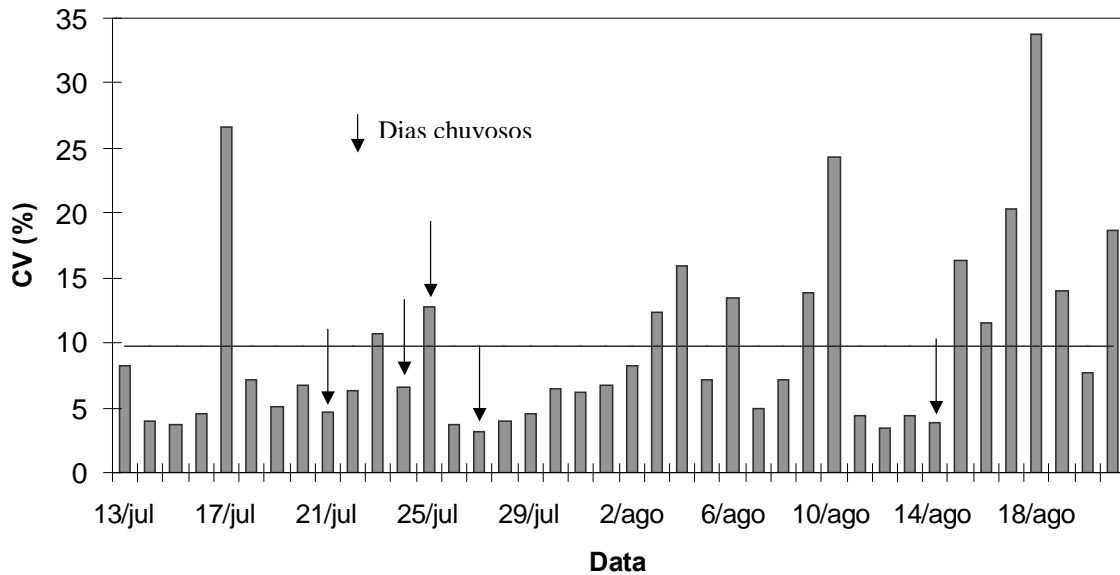


Figura 5 - Coeficiente de variação (CV) diário (barras) e médio (linha) para as medidas de duração do período de molhamento (DPM) obtidas por sensores eletrônicos cilíndricos, quando estes se encontravam instalados sobre gramado e na horizontal. Piracicaba, SP, 2005

A variabilidade entre os sensores também pode ser expressa por meio das diferenças absoluta e relativa (Figura 6). A diferença absoluta média entre os sensores cilíndricos foi igual a 29,5 min no início do período de molhamento e igual a 13 min durante seu secamento. De acordo com Pedro Junior (1980) e Magarey (1999), diferenças de 15 a 30 min entre medidas e observações visuais não são significantes do ponto de vista operacional, uma vez que as observações visuais e medidas da DPM estão sujeitas aos erros inerentes à variabilidade espacial do molhamento. Dessa forma, a diferença absoluta média encontrada para os sensores cilíndricos, no início e final do período de molhamento não é significativa do ponto de vista operacional, o que permite sua utilização para o monitoramento da DPM.

A diferença relativa média variou de -25,7 min a 26,2 min para o início do período de molhamento e de -10,4 a 21,9 min para o secamento (Figura 6). Sentelhas et al. (2004) observaram maiores diferenças absolutas entre sensores de placa instalados na mesma posição para o final do período de molhamento. Por outro lado, Lau et al. (2000) encontraram resposta

mais uniforme para o secamento do que para o início da DPM, para tanto sensores de placa não pintados como pintados com diferentes números de camadas de tinta, e instalados em ângulos distintos em relação à horizontal. Essas diferenças observadas no desempenho dos sensores podem estar ligadas às condições meteorológicas do local onde as medidas de DPM foram realizadas.

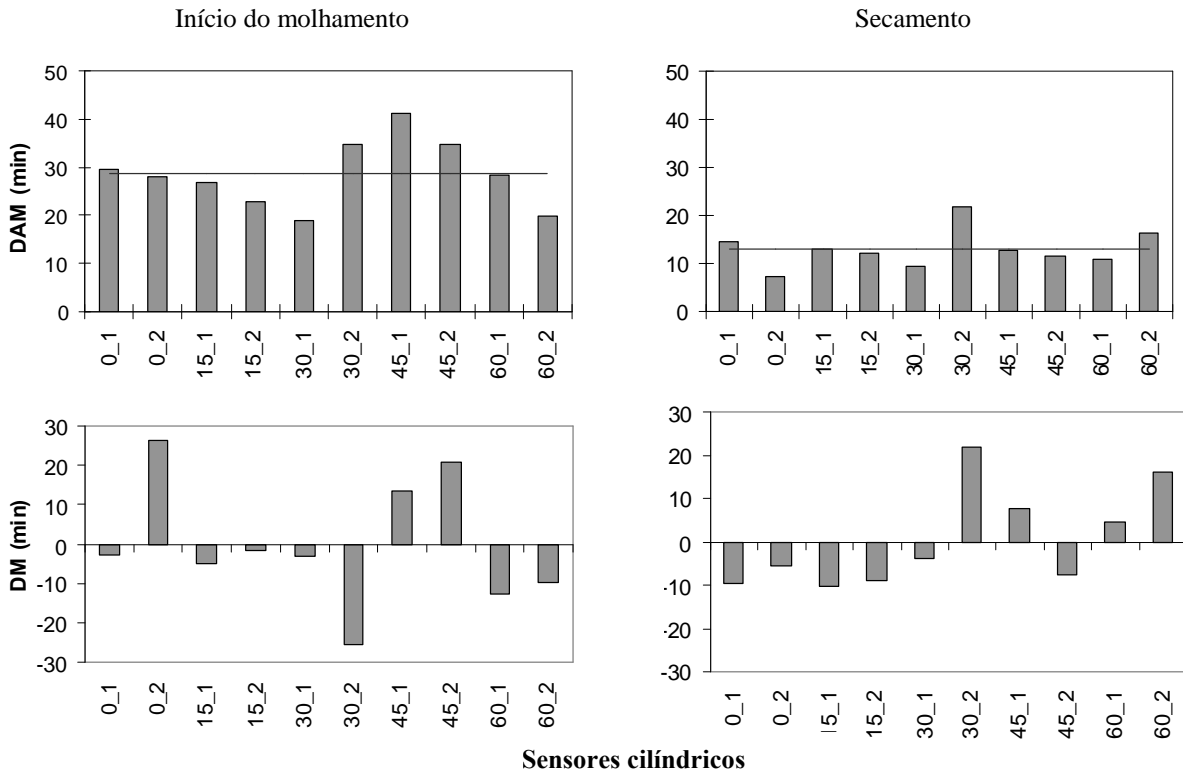


Figura 6 - Diferença absoluta média (DAM) e diferença média (DM) para o início do molhamento e de seu secamento, obtidos por sensores cilíndricos, adotando-se como referência a média desses sensores, quando todos eles encontravam-se na posição horizontal. A linha contínua representa a diferença absoluta média para o período

Por meio dos dados de umidade relativa obtidos por um psicrômetro aspirado, instalado no mesmo nível dos sensores (30 cm), foi possível observar que a ocorrência de menores taxas de variação da umidade relativa no período anterior ao início do molhamento, contribui para aumentar a variabilidade entre os sensores (Figura 7). Apesar da taxa de variação da umidade não ser a mesma daquela esperada para a camada de ar próxima à superfície dos sensores e de haverem outras variáveis envolvidas com a deposição do orvalho na superfície dos sensores, esses resultados indicam que o desempenho dos sensores de molhamento está também

relacionado com variáveis meteorológicas que governam a formação do orvalho. Condições meteorológicas que favorecem a deposição rápida de uma maior quantidade de água na superfície dos sensores, tendem a favorecer a redução da variabilidade entre os mesmos. Por outro lado, não foi observada relação semelhante entre o final do período de molhamento e a variação da umidade do ar, o que indica que outras variáveis, como a radiação solar, têm maior relação com a velocidade de secamento dos sensores do que a demanda evaporativa do ar. Esses resultados demonstram a importância de se considerar as variáveis relacionadas com a deposição e secamento do orvalho ao se avaliar o desempenho de sensores de DPM.

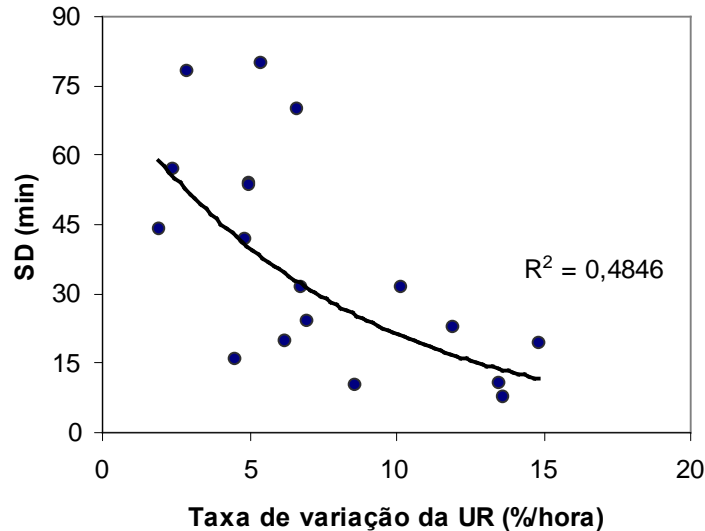


Figura 7 - Relação entre a taxa de variação da umidade relativa (UR) nos 30 minutos anteriores ao início do período de molhamento e o desvio padrão (SD) do horário do início do período de molhamento indicado pelos sensores cilíndricos. Piracicaba, SP, 2005

#### 4.1.2 Efeito no ângulo de instalação dos sensores cilíndricos na medida da DPM

A DPM obtida por sensores cilíndricos foi muito próxima daquela medida por sensores de placa instalados em posição padrão (Tabela 5). A diferença observada entre a DPM média obtida para os dois sensores foi inferior a 1 h, sendo desprezível do ponto de vista operacional. Por sua vez, a variabilidade da medida encontrada entre os sensores cilíndricos, instalados sobre diferentes ângulos, foi inferior ao coeficiente de variação médio (9,7%) obtido para os sensores



cilíndricos quando todos se encontravam instalados na horizontal. Portanto, para as condições em que o estudo foi realizado, o ângulo de instalação não teve efeito sobre a DPM média obtida pelos sensores cilíndricos.

Tabela 5 - Média da duração do período de molhamento medida por sensores de placa (Padrão) e cilíndricos instalados com diferentes ângulos em relação a horizontal, em Piracicaba, SP, 2005

Sensor	Ângulo	DPM (h)
Placa	45°	9,0
	0°	8,6
Cilíndrico	15°	7,8
	30°	9,0
	45°	8,2
	60°	9,4
	Média_cilíndricos	8,6

As comparações entre a DPM média diária obtida por sensores de placa e cilíndricos instalados com diferentes ângulos de inclinação, em relação à horizontal, durante 53 dias da estação seca foram feitas por meio de análise de regressão (Figura 8). Todos os coeficientes obtidos por meio desta análise foram significativos pelo teste t a 5% de probabilidade. Independentemente do ângulo de instalação, as medidas diárias obtidas para os sensores cilíndricos apresentaram elevada relação de proporcionalidade com aquelas obtidas com os sensores de placa, uma vez que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variaram de 0,92 a 0,96. A exatidão das medidas, expressa pelo índice de concordância de Willmott (D), também foi alta, variando de 0,96, a 0,99. Sentelhas, Gillespie e Santos (2005), ao compararem o sensor de placa na posição padrão com o sensor cilíndrico instalado na horizontal em Elora, Ontário, Canadá, observaram que a DPM obtida pelo último sensor era sistematicamente maior que aquela medida pelo sensor de placa. De acordo com os autores, a superestimativa da DPM poderia estar relacionada com o acúmulo de gotas de água de grande volume na superfície inferior dos sensores cilíndricos. Essas gotas requereriam um tempo maior para evaporar, principalmente no interior de dosséis onde a disponibilidade energética é menor, resultando em superestimativa da DPM. As diferenças entre o desempenho dos sensores cilíndricos em Piracicaba, SP, Brasil, e em Elora, ON, Canadá, podem estar relacionadas com as condições meteorológicas de cada local. Durante a estação seca em Piracicaba, a quantidade de orvalho formada sobre a superfície dos sensores pode não ter sido suficiente para causar formação de grandes gotas na superfície inferior dos sensores cilíndricos, ao contrário do que ocorreu nas condições úmidas de Elora. Essa

tendência de superestimativa não foi observada nem mesmo quando foram analisados somente dias chuvosos, nos quais o molhamento foliar pode ser causado tanto pela deposição de orvalho quanto pela chuva, sendo, portanto, esperada a deposição de maior quantidade de água na superfície dos sensores.

Assim como para o início do período de molhamento, o ângulo de instalação não teve efeito expressivo sobre o final do período de molhamento indicado pelos sensores cilíndricos (Tabela 6). Todos os sensores cilíndricos indicaram o final do período de molhamento mais tarde que os sensores de placa. Gillespie e Duan (1987) observaram que sensores de placa na posição horizontal indicaram o final do período de molhamento de 2 a 3 horas mais tarde que sensores cilíndricos também instalados na horizontal. Contudo, conforme relatado por Sentelhas et al. (2004), a instalação de sensores de placa na posição horizontal contribui para o acúmulo de excesso de água na superfície desses sensores, que demanda maior tempo para evaporar e, conseqüentemente, conduz à superestimativa da DPM. Os resultados encontrados corroboram com aqueles obtidos por Sentelhas; Gillespie e Santos (2005), que observaram que sensores cilíndricos instalados sobre gramado indicavam o final do período de molhamento mais tarde que os sensores de placa instalados em posição padrão. As diferenças médias encontradas para o início e final do período de molhamento, entre os sensores cilíndricos e de placa, não implicaram em erros de medida da DPM, conforme demonstrado anteriormente, uma vez que, as diferenças no horário de início e final do período de molhamento são de magnitude semelhante, com o atraso na detecção do molhamento sendo compensado pelo maior tempo que os sensores cilíndricos requerem para indicar o final do período de molhamento.

Tabela 6 - Diferenças do início e do final do período de molhamento entre medidas obtidas por sensores cilíndricos e sensores de placa (C - P) para os períodos que os sensores cilíndricos encontravam-se na horizontal e com vários ângulos de instalação. Piracicaba, SP, 2005

Sensor	Início – Diferença (min)		Final – Diferença (min)	
	Horizontal	Ângulos diferentes	Horizontal	Ângulos diferentes
0°	36,8	37,2	14,6	20,7
15°	21,6	58,0	12,8	3,8
30°	10,4	11,5	31,1	23,0
45°	42,3	43,8	22,3	16,0
60°	12,2	-8,3	31,5	26,5
Média	24,6	28,4	22,5	18,0

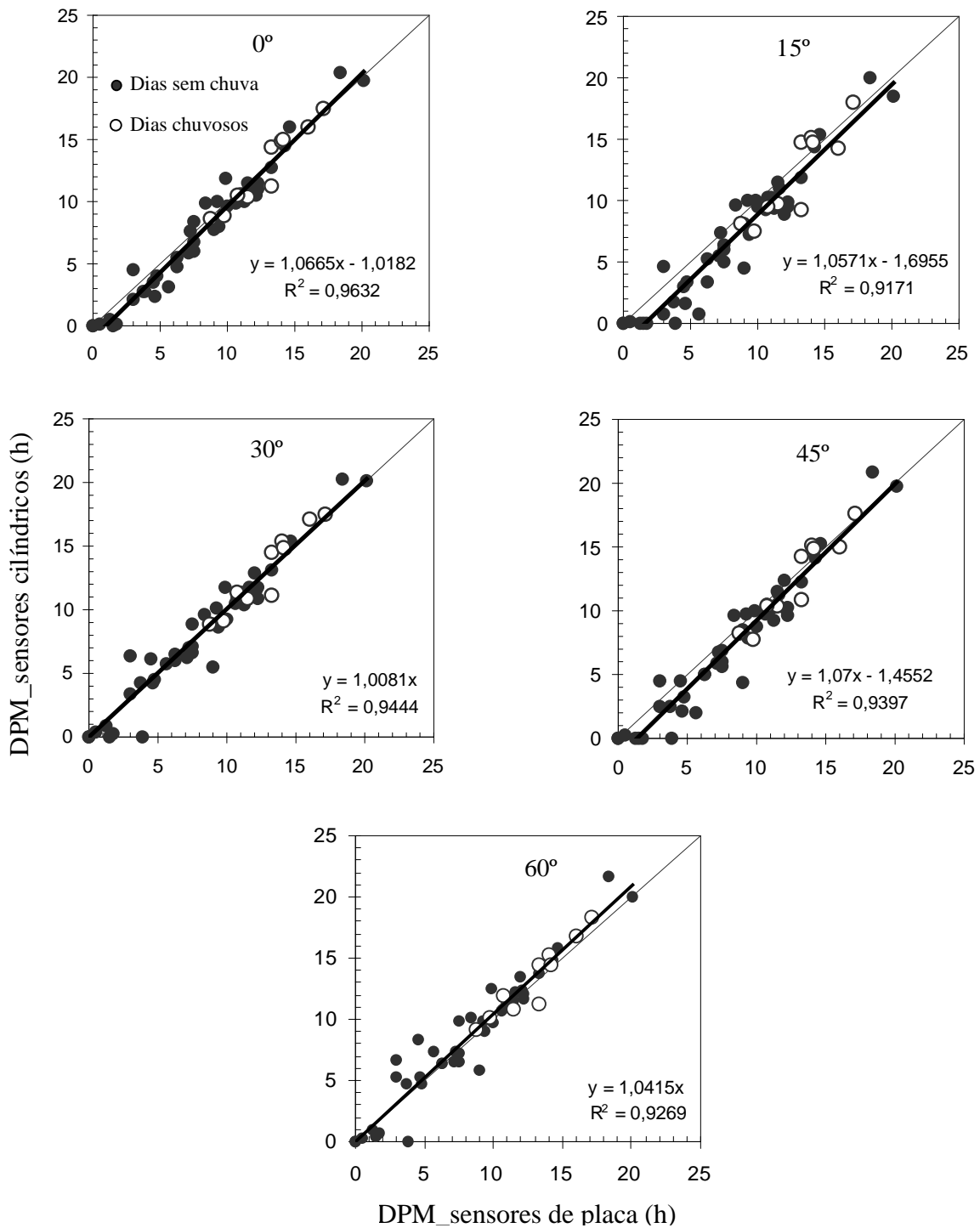


Figura 8 - Relação entre a duração do período de molhamento (DPM) média obtida por sensores de placa e cilíndricos instalados em diferentes ângulos em relação à horizontal (0°, 15°, 30°, 45° e 60°), em Piracicaba, SP, 2005

Para alguns modelos de sensores, o ângulo de instalação exerce forte influência sobre a medida da DPM. Lau et al. (2000) observaram que sensores de placa não pintados instalados a 30° e 45° respondiam mais tarde ao início do molhamento que aqueles instalados na horizontal. Sentelhas et al. (2004), ao estudarem o efeito do ângulo e altura de instalação de sensores de placa pintados com tinta látex branca, encontraram DPM média mais longa para os sensores instalados a 0° e 15° que para aqueles instalados a 30° e 45°. O sensor cilíndrico aparentemente é menos sensível ao ângulo de instalação do que os sensores de placa. Uma possível explicação para esse fato é que como este sensor tem a superfície sensível voltada para as  $2\pi$  direções, a variação do ângulo em relação à horizontal tem menor influência no acúmulo de água sobre a superfície do sensor, especialmente para os casos em que não ocorre condensação em quantidade suficiente para formar grandes gotas de água na superfície inferior dos sensores. Além disso, a forma cilíndrica do sensor contribuiu para que o ângulo de instalação não exercesse tanta influência no balanço de radiação do sensor em relação ao sensor de placa. No presente trabalho, não foi possível comprovar se a variação do ângulo de instalação seria eficiente para evitar a formação de grandes gotas na superfície inferior dos sensores, no entanto, como medida de precaução seria conveniente evitar a instalação desses sensores na posição horizontal, uma vez que a inclinação do sensor não conduz a erros na medida da DPM em regiões ou períodos com formação de menor quantidade de orvalho.

#### **4.2 Variabilidade espacial da duração do período de molhamento em culturas agrícolas**

O padrão de variação da DPM média em função da posição dos sensores na planta variou entre as três culturas analisadas (Tabela 7). Na cultura do algodão não foi observada diferença entre a média da DPM medida no topo da cultura e aquela obtida no interior do dossel. Por outro lado, na cultura do café foram observadas diferenças entre as médias das DPM obtidas nas diferentes posições do dossel. Os sensores instalados nas partes inferiores da planta e com orientação sudoeste, geralmente registraram maior DPM que os sensores instalados no topo da planta. A DPM medida no interior do cafeeiro foi, em média, 1 hora mais longa que aquela obtida no topo da planta. Já para cultura da banana, a DPM no terço superior do dossel foi em geral 1,9 h mais longa que aquela medida no terço inferior da planta.

Na cultura do algodão, como as avaliações foram feitas na fase inicial da cultura, a proximidade entre os sensores contribuiu para que não ocorressem diferenças expressivas de

DPM entre as duas posições avaliadas. Por outro lado, no cafeeiro, o topo da cultura ficou mais exposto ao vento e à radiação solar, dificultando a formação de orvalho durante a noite e proporcionando secamento mais rápido do molhamento no período diurno. Isso contribuiu para que nessa parte do dossel fossem registrados menores valores de DPM no topo em relação às partes mais baixas da planta. Resultados semelhantes foram obtidos por Sentelhas et al. (2005), que encontraram DPM 1,5 h mais longa no terço inferior em relação ao topo de plantas jovens café, com altura de aproximadamente 80 cm. Já na cultura da banana, a ocorrência de menores valores de DPM na porção inferior em relação ao terço superior pode estar relacionada com diferenças no balanço de radiação nas distintas partes do dossel. Os sensores abaixo do dossel estão parcialmente cobertos pela folhagem que intercepta a radiação de onda longa durante a noite, causando menor resfriamento dos sensores e, conseqüentemente, menor deposição de orvalho em suas superfícies (DALLA MARTA et al., 2004).

A exposição do dossel também foi um fator determinante para a DPM. Os sensores localizados no terço médio do café, orientados para o sudoeste, geralmente indicaram DPM mais longa (1,3 h) que aquela registrada pelos sensores instalados no terço médio da planta, voltados para o nordeste. No terço inferior, o efeito da exposição não foi evidente, provavelmente, em função do sombreamento causado pelas plantas das linhas adjacentes e também das folhas localizadas acima dos sensores. O efeito da exposição do dossel na DPM também foi observado por Dalla Marta et al. (2004), que ao avaliarem a DPM em várias posições do dossel de videira, obtiveram DPM mais longa na parte superior do dossel voltada para o oeste.

Tabela 7 - Duração do período de molhamento média em diferentes posições nas culturas de algodão, café e banana. Piracicaba, SP, 2005-2006

Cultura	Duração do Período de Molhamento (DPM – horas)					
	Posição do sensor na cultura					
Algodão (n = 78)	Topo			Terço inferior		
	9,1			9,1		
Café (n = 74)	Topo	Terço médio NE	Interior	Terço inferior NE	Terço médio SO	Terço inferior SO
		12,3		12,7	13,3	14,0
Banana (n = 45)	Terço superior			Terço inferior		
	16,1			14,2		

n = número de dias avaliados

Uma análise mais detalhada da variabilidade espacial da DPM pode ser obtida por meio das diferenças entre os horários do início e final do período de molhamento nas diferentes partes do dossel. Na cultura do algodão, o horário de início do período de molhamento no topo se deu em média 16 min antes da ocorrência de molhamento no terço inferior da cultura. Já o final do período de molhamento geralmente ocorreu 4 min mais tarde no interior da cultura do que em seu topo. Essas diferenças encontradas entre as duas posições são desprezíveis do ponto de vista operacional, uma vez que, segundo Pedro Junior (1980) e Magarey (1999), diferenças inferiores a 30 min entre medidas e observações visuais não são significativas do ponto de vista operacional, já que as observações visuais e medidas da DPM estão sujeitas aos erros inerentes à variabilidade espacial do molhamento.

No cafeeiro, o início do período de molhamento ocorreu, em geral, por último no topo da planta que nas demais posições avaliadas (Tabela 8). A maior diferença média (DM) observada para os horários de início do período de molhamento foi entre o topo e o terço inferior da planta voltado para o sudoeste, onde o início do período de molhamento ocorreu, em média, 101 min antes que no topo da planta. A diferença absoluta média (DAM), para o início do período de molhamento, variou de 44 a 118 min, sendo encontrada DAM média igual a 78 min. O final do período de molhamento geralmente ocorreu primeiro no interior da planta em relação às demais posições no seu exterior. Os sensores localizados no terço inferior da planta voltado para sudoeste indicaram, em média, o final do molhamento 118 min depois que os sensores instalados no topo do dossel, sendo os primeiros sensores aqueles que detectaram mais tarde o final do período de molhamento. A DAM para o final do molhamento variou de 18 a 85 min, apresentando valor médio igual a 46 min.

Tabela 8 - Diferença média (DM) e diferença absoluta média (DAM) entre os horários de início e do final do período de molhamento das diferentes posições da copa de cafeeiro, tomando-se como referência os horários de início e final do período de molhamento do topo da planta. Piracicaba, SP, 2006

Posição*	DM (min)		DAM (min)	
	Início	Final	Início	Final
TM_NE	-41	-1	44	18
INT	-64	-11	77	32
TI_NE	-88	13	104	21
TM_SO	-48	74	50	75
TI_SO	-101	84	118	85
Média	-68	32	78	46

\*TM\_NE = terço médio voltado para NE; INT = interior do dossel; TI\_NE = terço inferior voltado para NE; TM\_SO = terço médio voltado para SO; TI\_SO = terço inferior voltado para SO

A ocorrência do início do período de molhamento mais cedo nas partes mais baixas e no interior da planta pode estar relacionada com o fato da velocidade do vento ser menor nessas posições do que no topo do dossel, favorecendo a deposição mais rápida de orvalho sobre a superfície das folhas. Além disso, as partes mais baixas do dossel estão mais próximas ao solo, o que durante o período seco é uma importante fonte de vapor de água (ROSEMBERG; BLAD; VERMA, 1983). Por outro lado, a maior interceptação de radiação pelos sensores localizados no topo e no terço médio voltado para o nordeste pode ser a principal causa de seu secamento mais acelerado em relação aos sensores localizados em outras posições do dossel. Era de se esperar que os sensores localizados no interior da planta demorassem mais tempo para secar que aqueles instalados nas demais posições, em função da menor interceptação de radiação solar. Contudo, é provável que nesses sensores tenha se depositado uma menor quantidade de orvalho que nos sensores externos. Essa menor quantidade de orvalho demandaria menos tempo para evaporar. Por sua vez, as partes mais baixas da planta e aquelas voltadas para sudoeste recebem menor quantidade de radiação durante a manhã prolongando o tempo em que a água ficou retida na sua superfície. Resultados similares foram obtidos por Lau et al. (2000), que ao medirem a DPM em diversas posições no dossel de tomateiro, observaram que com os sensores voltados para leste indicando o final do período de molhamento cerca de 20 min mais cedo que aqueles voltados para as direções norte, sul e oeste.

Na cultura da banana o início do período de molhamento no terço superior do dossel ocorreu em média 96 min mais cedo que no terço médio, sendo a DAM, entre as duas posições, igual a 99 min. Já o final do período de molhamento ocorreu, em média, 24 min antes no terço médio do dossel quando comparado ao terço superior. A DAM para o final do período de molhamento entre essas duas posições foi igual a 38 min. Esses resultados são similares aos resultados obtidos por Wittich (1990), que observou uma DPM cerca de 2 h mais longa no topo de macieira do que na porção inferior do dossel. Sentelhas et al. (2005), por sua vez, encontraram DPM média variando de 8,7 h para o topo a 6,8 h para o terço inferior de dossel de macieira e de 14,5 h para o topo de dossel de milho e 13,5 h pra seu interior.

De uma maneira geral, foram obtidas boas correlações entre a DPM medida sobre gramado com sensor de placa em posição padrão e as medidas obtidas nas partes superiores do dossel das culturas localizadas nas proximidades do posto meteorológico. Todos os coeficientes obtidos por meio da análise de regressão foram significativos pelo teste t a 5% de probabilidade. Para a

cultura do algodão, foi observada uma faixa mais ampla de variação dos valores de DPM em relação às outras duas culturas avaliadas, uma vez que as medidas foram realizadas durante a estação chuvosa. Nesse período foi comum a ocorrência de dias com longa DPM devido a ocorrência de chuvas. Além disso, noites curtas e valores mais elevados de temperatura do ar durante o período noturno favoreceram a ocorrência de períodos de molhamento mais curtos (Figura 9). Na cultura do algodão, foram obtidas as melhores relações entre a DPM obtida na cultura e aquela medida em posto meteorológico. O coeficiente de determinação foi igual a 0,89 para o topo da cultura e 0,82 para o terço inferior. O coeficiente angular da regressão indica que a DPM no terço médio da cultura do algodão foi cerca de 3% superior a DPM obtida em posto meteorológico. Já a DPM no topo da cultura apresentou diferença inferior a 1% em relação a DPM sobre gramado. Considerando-se que as medidas em algodão foram realizadas na fase inicial da cultura, esses resultados eram esperados, uma vez que, tanto os sensores na cultura quanto aqueles instalados no posto meteorológico se encontravam em alturas semelhantes e, no caso específico dessa cultura, também apresentavam a mesma orientação. Por outro lado, a redução da precisão da estimativa da DPM observada para o terço inferior da cultura pode ser decorrente do desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, da alteração do balanço de radiação na superfície dos sensores instalados no terço inferior do dossel.

No cafeeiro, o  $R^2$  variou de 0,80, no topo da cultura, a 0,52, no terço médio voltado para o sudoeste (Figura 10). A precisão das estimativas sofreu uma redução do topo para as partes mais baixas do dossel. De forma geral, a DPM medida em cafeeiro foi maior que aquela obtida sobre gramado, sendo encontrada uma diferença de 4% entre a DPM medida no topo da cultura em relação àquela medida no posto meteorológico. Para as demais posições, se observou tendência de superestimativa da DPM para valores inferiores a 20 h e tendência de subestimativa para valores superiores a 20 h. Tal variação impossibilitou a adoção de um simples fator de correção para estimar a DPM nessa cultura. Neste caso, é necessária a utilização de modelos mais complexos visando essa estimativa (SENTELHAS et al., 2005). Assim como para o algodão e café, na cultura da banana (Figura 11) foi observada maior precisão da estimativa da DPM para na parte superior da cultura. Nessa posição a DPM foi sistematicamente maior que aquela observada no posto meteorológico. No terço médio da cultura essa tendência de superestimativa foi menor, contudo a precisão das estimativas foi reduzida consideravelmente.



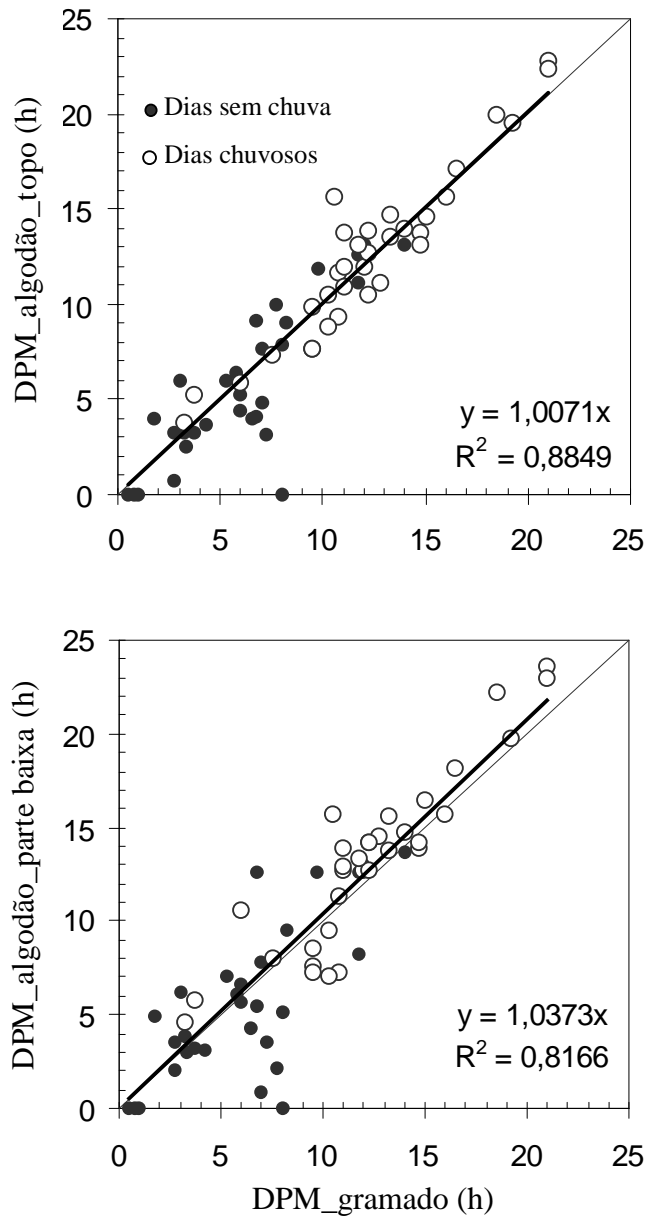


Figura 9 - Relação entre a duração do período de molhamento (DPM) medida por sensor de placa sobre gramado em posição padrão e a medida no topo e na parte baixa da cultura do algodão, em Piracicaba, SP, 2005

Esses resultados demonstram que a DPM é influenciada não apenas pelas variáveis micrometeorológicas, mas também por características do dossel, como, por exemplo, a altura e a arquitetura das plantas, a exposição das folhas, entre outros que interagem para determinar o microclima da cultura. As relações obtidas, principalmente para o as partes superiores do dossel das culturas, reforçam a possibilidade de emprego de sensores instalados em estações meteorológicas ou mesmo a utilização de dados meteorológicos obtidos em tais estações para

estimativa da DPM nas culturas. Contudo, segundo Sentelhas et al. (2005) esse procedimento só é operacionalmente viável se a DPM mais longa ocorrer nas partes superiores do dossel da cultura. Caso contrário, as medidas da DPM nas culturas tornam-se necessárias e indispensáveis.

### 4.3 Estimativa da DPM

As relações entre a DPM medida e aquela estimada por meio de modelos empíricos nas estações seca e chuvosa estão representadas na Figura 12. Todos os coeficientes obtidos por meio da análise de regressão foram significativos pelo teste t a 5% de probabilidade. Todos os modelos empíricos, exceto pelo modelo do limiar estendido, apresentaram boa acurácia e exatidão na estimativa da DPM. Os modelos CART, NHUR>87% e DPO subestimaram a DPM em aproximadamente 1%, 6% e 14%, respectivamente. No entanto, a precisão das estimativas, expressa pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), não foi elevada. O  $R^2$  variou de 0,77 (DPO) a 0,62 (limiar estendido). Já o erro absoluto médio (EAM) variou de 1,9 h para o modelo NHUR>87% a 2,9 h para o modelo do limiar estendido. Este último modelo também apresentou o maior erro máximo (EMAX), cujo valor foi igual a 9,8 h, enquanto que o modelo do NHUR>87% apresentou EMAX igual a -7 h, sendo o melhor desempenho entre os modelos avaliados.

Os resultados obtidos para os modelos do NHUR>87% e DPO são comparáveis com aqueles obtidos por outros autores para modelos mais complexos. Sentelhas (2004) encontrou EAM igual a 1,1 h para modelo físico baseado em resistência aerodinâmica. Madeira et al. (2002) observaram EAM iguais a 1,5 e 1,6 h para dois modelos físicos de estimativa de DPM baseados em balanço de energia e cobertura de nuvens. Kim, Taylor e Gleason (2004) encontraram EAM igual a 2,9 h para um modelo de estimativa de DPM baseado em lógica Fuzzy. Resultados similares foram obtidos por Sentelhas (2004) ao empregar os modelos do NHUR>90% e DPO para a estimativa da DPM em algodão durante a estação chuvosa em Piracicaba, SP. Além do bom desempenho para as condições locais, os modelos do NHUR>87% e da DPO apresentam ainda vantagens adicionais por dependerem de menor número de variáveis de entrada e também por serem modelos muito simples, de fácil entendimento, aplicação e interpretação.

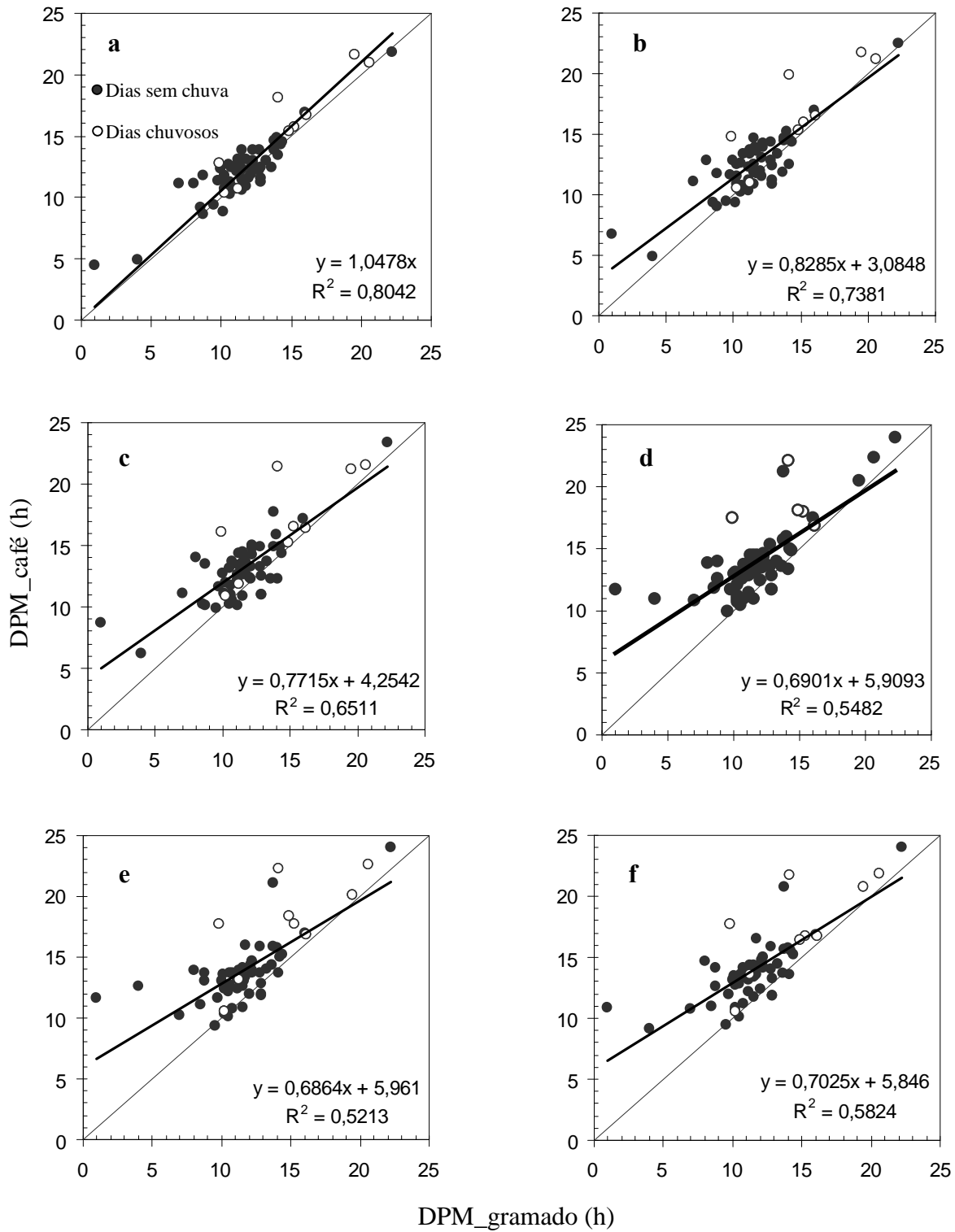


Figura 10 - Relação entre a duração do período de molhamento (DPM) medida em diferentes posições de dossel de cafeeiro: topo (a), no terço médio com exposição NE (b), no interior da planta (c), no terço inferior com exposição NE (d), no terço médio com exposição SO (e) e no terço inferior com exposição SO (f) e aquela obtida sobre gramado em Piracicaba, SP, 2006

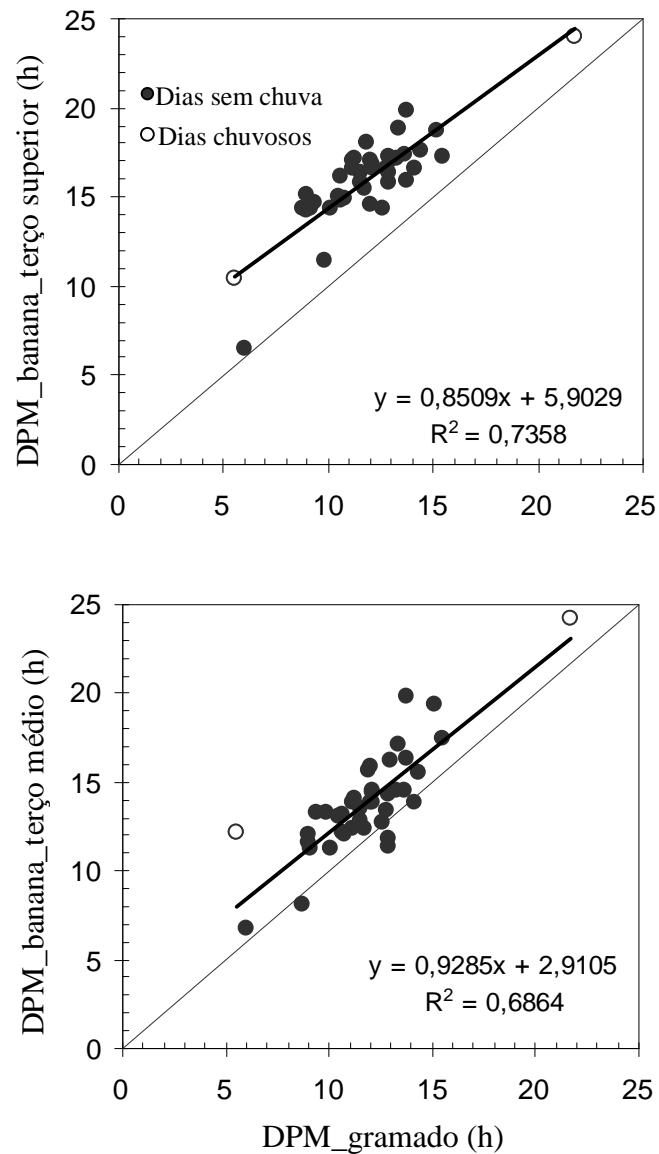


Figura 11 - Relação entre a duração do período de molhamento (DPM) medida por sensor de placa sobre gramado em posição padrão e a DPM medida nos terços médio e superior da cultura da banana, em Piracicaba, SP, 2006

Entretanto, os modelos empíricos de estimativa da DPM, assim como qualquer outro modelo empírico, apresentam restrições quanto a sua transportabilidade, ou seja, seu desempenho é geralmente melhor na região para a qual foram desenvolvidos. Gleason et al. (1994) observaram pior desempenho do modelo do NHUR>90% em relação ao modelo CART para estimativa da DPM no meio-oeste dos Estados Unidos. Kruit et al. (2004) obtiveram melhores estimativas da DPM por meio do modelo do limiar estendido em relação a dois modelos físicos e ao modelo do NHUR>87% na Holanda. No presente estudo, o modelo do limiar estendido

apresentou o pior desempenho entre os modelos avaliados nos dois períodos considerados, indicando a necessidade de se efetuarem ajustes visando à melhoria da estimativa da DPM para as condições climáticas locais. O modelo CART, por sua vez, apresentou bom desempenho para estimativa da DPM apesar de ter sido desenvolvido para as condições climáticas do meio-oeste americano. Este modelo apresentou EAM igual 2,0 h para todo período avaliado. Kim; Taylor e Gleason (2004) encontraram EAM iguais a 3,9 h e 5,4 h ao utilizarem o modelo CART para a estimativa da DPM para o meio-oeste dos Estados Unidos e noroeste da Costa Rica, respectivamente.

O desempenho de todos os modelos variou para os dois períodos avaliados (Tabela 9). Durante a estação chuvosa, todos os modelos avaliados, exceto o modelo CART, apresentaram aumento nos valores de  $R^2$ , indicando melhoria da precisão nessa estação em relação ao período seco. Durante a estação chuvosa, também foi observada melhoria na exatidão, expressa pelo índice D, para maioria dos modelos. Ao se avaliar precisão e exatidão conjuntamente, por meio do índice C, foi possível constatar que todos os modelos apresentaram melhor desempenho durante a estação chuvosa, com exceção apenas para o modelo CART, para o qual foi observada ligeira piora de desempenho para o período chuvoso. Ao se analisarem os erros médios (EM) relacionados à estimativa da DPM, foi observado que os modelos do NHUR>87% e CART apresentaram tendência de subestimar a DPM durante as duas estações, seca e chuvosa. O modelo CART, apresentou tendência de subestimar a DPM em 1,6 h durante a estação seca e em 1,7 h durante o período chuvoso. Entretanto, ao se analisar sua performance durante todo período, constatou-se que esse modelo forneceu as medidas mais acuradas da DPM, quando comparado aos demais modelos avaliados (Figura 12). Para o modelo da DPO, foi observada redução da superestimativa da DPM durante o período chuvoso em relação à estação seca. Já para o modelo do limiar estendido, foi observada maior superestimativa da DPM durante a estação chuvosa. Os modelos do NHUR>87% e da DPO apresentaram redução do EAM durante o período chuvoso. Já o modelo do limiar estendido apresentou aumento do EAM na estação chuvosa, além dos maiores valores de EMAX durante os dois períodos analisados.

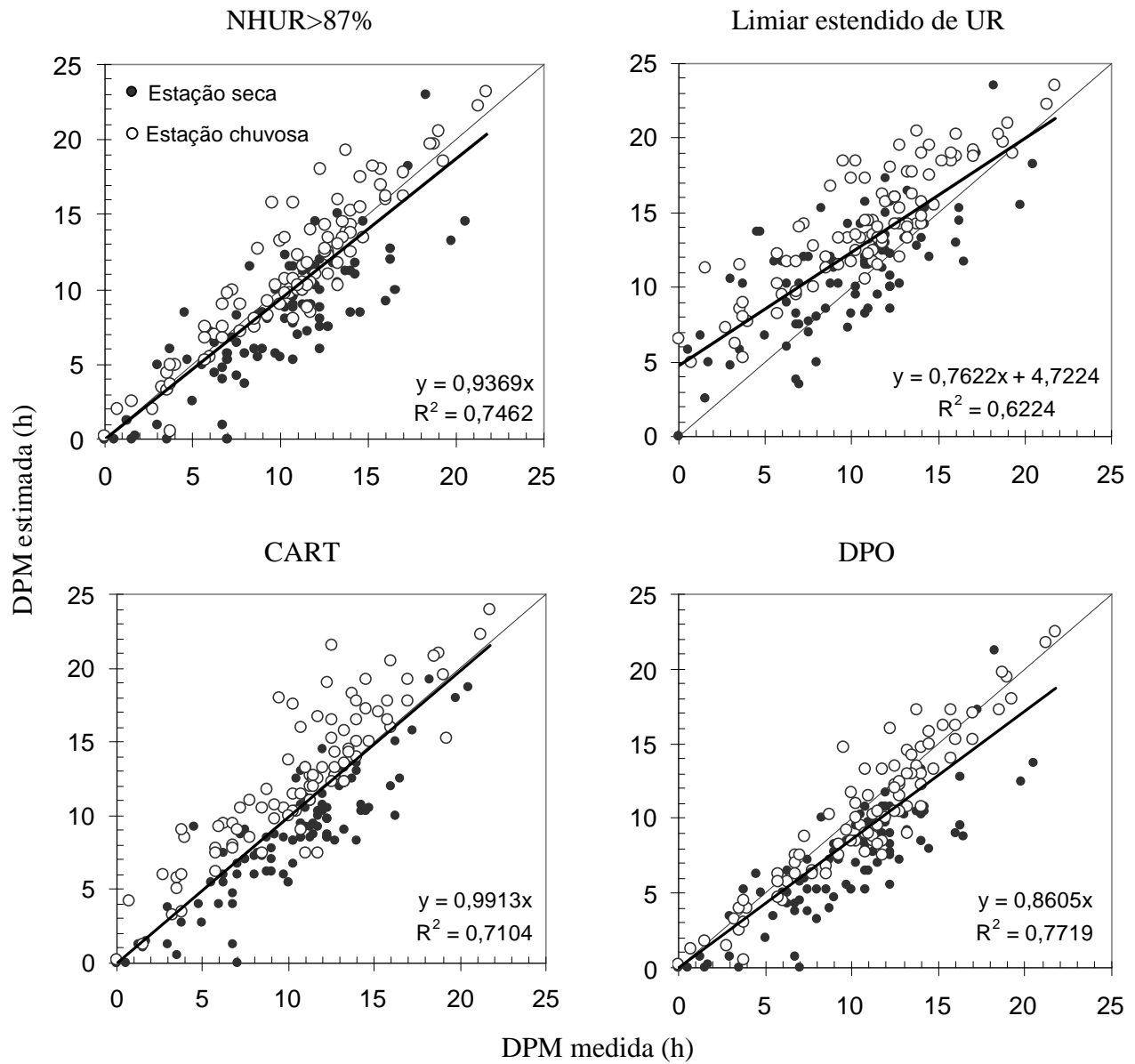


Figura 12 - Relação entre a duração do período de molhamento (DPM) medida por sensor de placa em posição padrão e a DPM estimada por meio dos modelos NHUR > 87%, limiar estendido de umidade relativa, CART e DPO. Piracicaba, SP, 2005-2006

Tabela 9 - Índices estatísticos e erros relacionados à estimativa da duração do período de molhamento (DPM) por meio de modelos empíricos: NHUR>87%, Limiar estendido, CART e DPO, a partir de dados obtidos em estação meteorológica, durante a estações seca (julho a outubro de 2005) e a estação chuvosa (dezembro de 2005 a março de 2006) em Piracicaba, SP

Modelos	R <sup>2</sup>	D	C	EM	EAM	EMAX
				(horas)		
Estação Seca						
NHUR > 87%	0,69	0,87	0,72	-1,8	2,4	-7,0
Limiar estendido	0,56	0,85	0,63	1,2	2,4	9,3
CART	0,80	0,91	0,81	-1,6	2,0	-7,0
DPO	0,73	0,84	0,72	-2,6	2,8	-7,8
Estação chuvosa						
NHUR > 87%	0,86	0,96	0,89	0,5	1,4	6,3
Limiar estendido	0,75	0,80	0,70	3,3	3,4	9,8
CART	0,78	0,91	0,80	1,7	2,1	9,0
DPO	0,88	0,96	0,91	-0,5	1,4	5,3

As variações sazonais observadas no desempenho dos modelos empíricos de estimativa de DPM é um indicativo das limitações para sua transportabilidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Kim; Taylor e Gleason (2004), que ao utilizarem o modelo CART para estimativa da DPM no noroeste da Costa Rica, observaram que, em geral, esse modelo superestimou a DPM em 5,1 h durante a estação chuvosa e em 0,9 h durante a estação seca. De acordo com os mesmos autores, diferenças temporais e locais no desempenho do modelo CART podem estar relacionadas com o fato de que as regras de decisão estabelecidas para esse modelo terem sido obtidas por meio de procedimentos estatísticos para as condições do meio-oeste americano, sem, contudo, a incorporação explícita de princípios físicos. Por outro lado, o pior desempenho dos modelos do NHUR>87% e da DPO, durante a estação seca, indica que durante esse período do ano existem outras variáveis relacionadas à DPM, tais como velocidade do vento, cobertura de nuvens e umidade do solo, além da temperatura e da umidade relativa do ar, que devem ser consideradas para a estimativa da DPM, visando-se a obtenção de melhores resultados (PEDRO JUNIOR; GILLESPIE, 1982a; WILSON; BLAND; NORMAN, 1999).

A habilidade dos modelos em indicar a ocorrência ou ausência do molhamento em intervalos de quinze minutos nos dois períodos (seco e úmido) foi avaliada por meio de tabela de contingência (Tabela 10). Os resultados encontrados confirmam os anteriormente obtidos por meio de análise de regressão e pelo cálculo de índices estatísticos. Utilizando-se à tabela de contingência foram calculados os índices estatísticos, que são apresentados na Tabela 11. O

índice de previsões corretas (IPC), que expressa a proporção dos intervalos de tempo em que os modelos indicaram corretamente a condição de molhamento, evidencia que o modelo CART apresentou melhor desempenho entre os modelos avaliados durante a estação seca, fornecendo previsões corretas em 89% dos intervalos de 15 min. O modelo da DPO, por sua vez, apresentou valor de IPC igual a 86%, sendo o menor valor obtido entre os modelos avaliados durante a estação seca. O modelo CART também apresentou o menor índice de falso alarme (IFA), que representa a proporção dos intervalos de tempo em que os modelos indicaram molhamento sem que esse fosse medido pelo sensor. Este modelo apresentou IFA igual a 5% seguido pelos modelos do NHUR>87% e da DPO, ambos com valor igual a 6%. Já o modelo do limiar estendido apresentou IFA igual a 20% durante a estação chuvosa. Os modelos NHUR>87%, CART e DPO apresentam os menores valores para o erro de estimativa, o que indica que esses modelos tenderam a subestimar a DPM durante a estação seca. Por outro lado, o modelo do limiar estendido tendeu a superestimar essa variável durante essa estação. Analisando-se os três índices conjuntamente, o modelo CART foi o que apresentou o melhor desempenho na estimativa da DPM durante a estação seca.

Tabela 10 - Tabela de contingência para os modelos de estimativa da duração do período de molhamento (DPM): NHUR>87%, Limiar estendido, CART e DPO, durante as estações seca (julho a outubro de 2005) e chuvosa (dezembro de 2005 a março de 2006) em Piracicaba, SP

Modelo	Ocorrência de molhamento: Observado/estimado			
	sim/sim	sim/não	não/sim	não/não
Estação seca				
NHUR>87	0,31	0,10	0,02	0,57
Limiar estendido	0,37	0,04	0,09	0,50
CART	0,32	0,09	0,02	0,57
DPO	0,29	0,13	0,02	0,57
Estação chuvosa				
NHUR>87	0,42	0,03	0,05	0,50
Limiar estendido	0,44	0,01	0,15	0,40
CART	0,43	0,03	0,09	0,45
DPO	0,38	0,07	0,05	0,50

Durante a estação chuvosa, observou-se um aumento na proporção do tempo em que tanto o sensor quanto os modelos indicavam molhamento, isso se deve ao fato que durante esse período a DPM média foi mais longa (Tabela 11). Os modelos NHUR>87% e DPO apresentaram valores



para IPC iguais a 92% e 89%, respectivamente. Esses valores demonstram que tais modelos apresentaram aumento na porcentagem de intervalos de tempo em que indicaram corretamente a condição de molhamento em relação ao período seco. Os modelos CART e do limiar estendido apresentaram redução no IPC durante o período chuvoso em relação à estação seca. Neste período, foi também observado um aumento nos valores de IFA para todos os modelos avaliados. O modelo CART apresentou a maior variação nos valores de IFA de uma estação para outra, confirmando a tendência desse modelo de superestimar a DPM na estação chuvosa. Todos os modelos avaliados, exceto o modelo DPO, apresentaram tendência de superestimar a DPM durante o período chuvoso, a qual foi maior para as estimativas com o modelo do limiar estendido. Considerando-se os três índices conjuntamente, observou-se que o modelo do NHUR>87% forneceu as melhores estimativas da DPM durante a estação chuvosa.

Tabela 11 - Índices estatísticos obtidos a partir da tabela de contingência para os modelos de estimativa da duração do período de molhamento (DPM): NHUR>87%, Limiar estendido, CART e DPO, durante as estações seca (julho a outubro de 2005) e chuvosa (dezembro de 2005 a março de 2006), em Piracicaba, SP

Modelos	IPC	IFA	Erro sistemático
Estação seca			
NHUR>87	0,88	0,06	0,81
Limiar estendido	0,86	0,20	1,11
CART	0,89	0,05	0,83
DPO	0,85	0,06	0,73
Estação chuvosa			
NHUR>87	0,92	0,11	1,04
Limiar estendido	0,84	0,25	1,31
CART	0,88	0,18	1,15
DPO	0,89	0,11	0,95

A análise do desempenho dos modelos por meio de tabela de contingência demonstra que a performance dos modelos empíricos é dependente das condições climáticas do local onde estão sendo utilizados. Kruit et al. (2004), ao usarem o modelo do limiar estendido de umidade para estimar a DPM na Holanda em intervalos de 30 min, observaram que esse modelo apresentou valor de IPC igual a 0,87, com melhor desempenho que o modelo do NHUR>87%. Nesse estudo, foi verificado que há necessidade de ajustes nesse modelo visando melhores estimativas da DPM para as condições locais. Gleason et al. (1994) observaram que o modelo CART indicou corretamente a presença e ausência de molhamento em 83,5% das horas avaliadas, enquanto que

para o modelo do NHUR>90% esse percentual foi igual a 78,6%. Já para as condições climáticas locais, o modelo CART e o modelo do NHUR>87% apresentaram desempenho semelhante aos se analisar a média do IPC para os dois períodos.

A variação sazonal do desempenho dos modelos também ficou evidente neste tipo de análise. O melhor desempenho dos modelos NHUR>87% e DPO durante a estação chuvosa pode ser devido ao fato da temperatura e da umidade relativa do ar terem maior relação com DPM que outras variáveis meteorológicas, durante tal período do ano. Além disso, durante a estação seca o gradiente de temperatura e umidade relativa do ar é geralmente mais elevado e como o sensor de temperatura e umidade relativa do ar estava instalado num nível mais alto do que o sensor de DPM, as medidas obtidas podem não representar satisfatoriamente a variação apresentada por essas variáveis no mesmo nível do sensor de DPM. Kim et al. (2005) obtiveram melhoria do desempenho de modelo de estimativa da DPM, baseado em lógica Fuzzy, por meio da utilização de fator de correção para as épocas seca e chuvosa do ano. Portanto, a melhoria da estimativa da DPM por esses modelos durante a estação seca poderia ser obtida com o ajuste dos limiares arbitrários para cada estação do ano. No entanto, de uma forma geral os modelos empíricos apresentaram desempenho comparável aos modelos mais complexos, o que comprova sua eficiência para estimativa da DPM em condições tropicais.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- a) A adoção de um limiar ou valor crítico de resistência para cada sensor cilíndrico de DPM contribuiu para a redução da variabilidade entre sensores e também para melhoria da exatidão de suas medidas.
- b) A variabilidade entre os sensores cilíndricos também foi influenciada por variáveis meteorológicas relacionadas à deposição do orvalho. O aumento da taxa de variação da umidade relativa do ar resultou em redução da variabilidade dos sensores no início do período de molhamento. Assim, na avaliação do desempenho dos sensores de DPM seria conveniente monitorar as variáveis meteorológicas relacionadas ao molhamento foliar.
- c) Os sensores cilíndricos são uma boa alternativa para monitoramento da DPM, uma vez que suas medidas apresentaram boa correlação com aquelas obtidas por sensor de placa sobre gramado, instalado em posição padrão.
- d) O ângulo de instalação dos sensores cilíndricos, para as condições locais, não teve efeito expressivo sobre a medida da DPM. Entretanto, por precaução, deve-se evitar a sua instalação na horizontal, visto que estudos prévios indicaram que sensores instalados nessa posição podem causar superestimativa da DPM.
- e) A medida da DPM em diferentes culturas demonstrou que essa variável é influenciada por características do dossel, como altura e arquitetura, e também pela exposição da planta. O padrão de variação da DPM foi diferenciado para cada cultura. Em cafeeiro, a DPM mais longa foi observada nas partes inferiores do dossel. Na cultura da banana, no terço superior do dossel apresentou DPM mais longa, enquanto que na cultura do algodão não foram observadas diferenças expressivas entre o topo e o terço inferior da planta.
- f) A DPM obtida em posto meteorológico apresentou boa relação com aquela medida no terço superior do dossel das três culturas estudadas. Dessa forma, a estimativa da DPM para culturas onde a parte superior do dossel apresenta a maior DPM é uma alternativa viável para fins operacionais de manejo de doenças.

- g) Os modelos do NHUR>87%, CART e da DPO forneceram boas estimativas da DPM. Contudo, observou-se que seu desempenho variou para os dois períodos estudados. Os dois primeiros modelos tenderam a subestimar a DPM no período seco e a superestimá-la no período chuvoso. Já o modelo da DPO apresentou tendência de subestimativa da DPM, que foi mais pronunciada no período seco.
- h) O modelo do limiar estendido apresentou o pior desempenho entre os modelos avaliados para as duas épocas. Portanto, a utilização desse modelo para as condições locais é dependente de ajustes nos seus limiares fixo e estendido.

## REFERÊNCIAS

ARMSTRONG, R.; BARTHAKUR, N.N.; NORRIS, E.A. A comparative study of three leaf wetness sensors. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 37, p. 7-10, 1993.

BERGAMIM FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. Piracicaba: Ceres, 1996. 299 p.

BERTON, O; MELZER, R. **Sistema de alerta para o controle da sarna da macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1989. 75 p.

CAMPBELL, G.S.; NORMAN, J.M. **An introduction to environmental biophysics**. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1998. 286 p.

CARISSE, O.; KUSHALAPPA, A.C. Development of an infection model for *Cercospora carotae* on carrot based on temperature and leaf wetness duration. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 80, p. 1233-1238, 1990.

COELHO, R. R.; VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; PAUL, P.A.; ZAMBOLIM, L.Z.; BARRETO, R.W. Determinação das condições climáticas que favorecem o desenvolvimento da ferrugem e da mancha angular do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 5, p. 508-514, 2003.

DALLA MARTA, A.; ORLANDINI, S.; GHIRONI, M.; SABATINI, F. Influence of different sensor positions on leaf wetness measurements and their effect on the simulation of grapevine downy mildew (*Plasmopara viticola*). **Időjárás**, Budapeste, v. 108, p. 253-263, 2004.

GETZ, R.R. **Report on the measurement of leaf wetness**. Genova: Comission for Instruments and Methods of Observation (WMO), 1991. 10 p.

GIESLER, L.J.; HORST, G.L.; YUEN, G.Y. A site-specific sensor for measuring leaf wetness duration within turfgrass canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 81, p. 145-156, 1996.

GILLESPIE, T.J.; KIDD, G.E. Sensing duration of moisture retention using electrical impedance grids. **Canadian Journal of Plant Science**, Pinawa, v. 54, p. 179-187, 1978.

GILLESPIE, T.J.; DUAN, R.X. A comparison of cylindrical and flat plate sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 40, p. 61-70, 1987.

GILLESPIE, T.J.; SRIVASTAVA, B.; PITBLADO, R.E. Using operational weather data to schedule fungicides sprays on tomatoes in southern Ontario, Canada. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 32, p. 567-573, 1993.

GLEASON, M.L.; TAYLOR, S.E.; LOUGHIN, T.M.; KOEHLER, K.J. Development and validation of an empirical model to estimate duration of dew periods. **Plant disease**, Saint Paul, v. 78, p. 1011-1016, 1994.

HUBER, L.; GILLESPIE, T.J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. **Annual Review of Phitopathology**, Palo Alto, v. 30, p. 553-577, 1992.

KIM, K.S.; TAYLOR, S.E.; GLEASON, M.L. Development and validation of a leaf wetness duration model using a fuzzy logic system. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 111, p. 55-63, 2004.

KIM, K.S.; TAYLOR, S.E.; GLEASON, M.L.; VILLALOBOS R.; ARAUZ, L.F. Estimation of leaf wetness duration using empirical models in northwestern Costa Rica. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 129, p. 53-67, 2005.

KRUIT, R.J.W.; VAN PUL, W.A.J.; JACOBS, A.F.G.; HEUSINKVELD, B.G. Comparison between four methods to estimate leaf wetness duration caused by dew on grassland. In: **AGROMETEOROLOGICAL CONFERENCE**, 26., 2004, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver: AMS, 2004.1 CD-ROM.

LAU, Y.F.; GLEASON, M.L.; ZRIBA, N.; TAYLOR, S. E; HINZ, P.N. Effects of coating, deployment angle, and compass orientation on performance of electronic wetness sensors during dew periods. **Plant Disease**, Saint Paul, v.84, p. 192-197, 2000.

LOMAS, J.; SHASHOUA, Y. The performance of three types of leaf-wetness recorders. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 7, p. 159-166, 1970.

MADEIRA, A.C.; KIM, K.S; TAYLOR, S.E.; GLEASON, M.L. A simple cloud-based energy balance model to estimate dew. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 111, p. 55-63, 2002.

MAGAREY, R.D. **A theoretical standard for estimation of surface wetness duration in grape**. 1999. 208p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Cornell University, Ithaca, New York, 1999.

MONTEITH, J.L. Dew: Facts and fallacies. In: RUTTER, A. J., WHITEHEAD, F. H. **The water relations of plants**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1963. p. 37-56.

MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of Environmental Physics**. 2nd ed. New York: Routledge, 1990. 291p.

PEDRO JUNIOR, M.J. **Relation of leaf surface wetness duration to meteorological parameters**. 1980. 147p. Tese (Doutorado em Agrometeorologia) - University of Guelph, Guelph, Ontario, 1980.

PEDRO JUNIOR, M.J.; GILLESPIE, T.J. Estimating dew duration I. Utilizing micrometeorological data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 25, p. 283-296, 1982a.

PEDRO JUNIOR, M.J.; GILLESPIE, T.J. Estimating dew duration II. Utilizing standard weather station data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 25, p. 297-310, 1982b.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

RAO, P.S.; GILLESPIE, T.J; SCHAAFSSMA, A.W. Estimating wetness duration on maize ears from meteorological observations. **Canadian Journal of Soil Science**, Lethbridge, v. 78, p. 149-154, 1998.

ROSEMBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate**: the biological environment. New York: John Wiley, 1983. 495p.

SCHUH, W.; ADAMOWICZ, A. Influence of assessment time in modeling approach on the relationship between temperature-leaf wetness period and diseases parameters of *Septoria glycines* on soybeans. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 83, n. 9, p. 941-948, 1993.

SENTELHAS, P.C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais de sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith**. 2004. 161 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; SANTOS, E.A. Leaf wetness measurement: comparison of cylindrical and flat plate sensors under different field conditions. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Anais...** Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1 CD-ROM

SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J.E.B.A.; GILLESPIE, T.J. Electronic leaf wetness duration sensor: why it should be painted. **International Journal of Biometeorology**, New York, p. 202-205, 2004.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; GLEASON, M.L.; MONTEIRO, J.E.B.A.; HELLAND, S. T., Operational exposure of leaf wetness sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 126 p, 59-72, 2004.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; BLATZER, J.C.; GLEASON, M.L.; MONTEIRO, J.E.B.A.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JUNIOR, M.J. . Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 49, p. 363–370, 2005.

SMITH, C.A.; GILPATRICK, J.D. Geneva Leaf-Wetness Detector. **Plant disease**, Saint Paul, v. 64, n. 3, 1980.

SUTTON, J.C.; GILLESPIE, T.J.; HILDEBRAND, P.D. Monitoring weather factors in relation to plant disease. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 68, p 78-74, 1984.



VALE, F.X.R; JESUS JUNIOR, W.C; ZAMBOLIM, L.Z. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004.

WALLIN, J.R. Dew, its significance and measurement in Phytopathology. **Phytopathology**, Saint Paul. v. 53, p. 1210-1219, 1963.

WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric Sciences**. San Diego: Academic Press, 1995. 465 p.

WILSON, T.B; BLAND, W.L; NORMAN, J.M. Measurement and simulation of dew accumulation and drying in a potato canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 93, p. 111-119, 1999.

WITTICH, K.P. Some remarks on the dew duration on top of an orchard. **Agricultural and Forest meteorology**, Amsterdam, v. 51, p. 145-158, 1990.