



**TESE DE DOUTORADO**

**DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO  
DO PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR  
EM CULTIVOS DE BATATA**

**LUCIANO STRECK**

**PPGA**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2006**

**DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO  
FOLIAR EM CULTIVOS DE BATATA**

por

**LUCIANO STRECK**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de DOUTOR EM AGRONOMIA.

Orientador: Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein

Santa Maria, RS, Brasil

2006

**Streck, Luciano, 1974-**

**S914d**

Determinação da duração do período de molhamento foliar em cultivos de batata / por Luciano Streck ; orientador Arno Bernardo Heldwein. – Santa Maria, 2006  
107 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2006.

1. Agronomia    2. Molhamento foliar    3. Orvalho  
4. Observação visual    5. Estimativa    6. Variáveis meteorológicas  
7. Batata    I. Heldwein, Arno Bernardo, orient.. II. Título

CDU: 635.21:551.58

Ficha catalográfica elaborada por  
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

---

©2006

Todos os direitos autorais reservados ao autor, Luciano Streck.  
Endereço eletrônico: [streckl@gmail.com](mailto:streckl@gmail.com) ou [streckl@yahoo.com.br](mailto:streckl@yahoo.com.br)

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Tese

**DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR**  
**EM CULTIVOS DE BATATA**

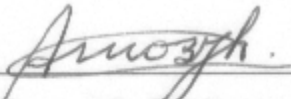
elaborada por

**LUCIANO STRECK**

como requisito parcial para a obtenção do grau de

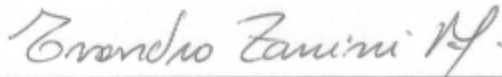
**DOUTOR EM AGRONOMIA**

**COMISSÃO EXAMINADORA**



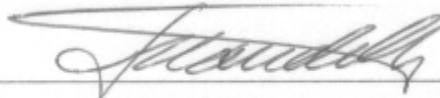
---

**Prof. Dr. Arno/Bernardo Heldwein - UFSM**  
Presidente/Orientador



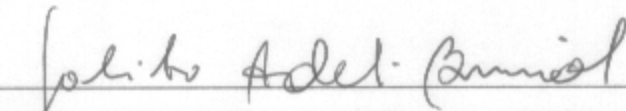
---

**Prof. Dr. Evandro Zanini Righi - PUC-PR**



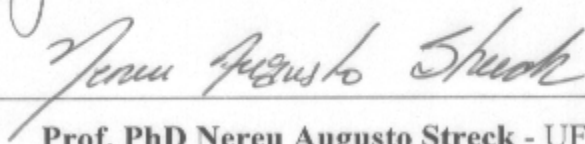
---

**Dr. Francisco Mandelli - EMBRAPA**



---

**Prof. Dr. Galileo Adeli Buriol - UNIFRA**



---

**Prof. PhD Nereu Augusto Streck - UFSM**

Santa Maria, 10 abril de 2006.

## **AGRADEÇO**

a **DEUS**

presença constante guiando meus passos

*- Lâmpada para meus pés... e, luz para meus caminhos -*

(Salmos 119:105)

Ao professor Arno Bernardo Heldwein não somente pela orientação mas também por ser um amigo presente em qualquer momento.

Aos amigos de convivência: Eleonir João Calegari e Liciane, Odacir Antonio Mariani e Mairi, Claiton Renato Ecco, Daniel Alexandre Neuwald e Ivana Ferigolo, ...

Aos estimados colegas e acima de tudo amigos, do setor de Climatologia Agrícola: Ivonete Tazzo, Edenir Grimm, Gustavo Trentin, Carina Pivetta, Guilherme Maass, Joel C. da Silva, Fabrina Martins, Jacso Dellai, Cleber Alberto, Ivan Maldaner, ...

e a todos que contribuíram de uma ou de outra forma.

## **DEDICO**

Aos meus pais

Leonida Almida Buss Streck e

Ernaldo Ernani Streck

e à minha irmã

Danúbia Streck

tão especiais e que tanto amo

## RESUMO

Tese de doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR EM CULTIVOS DE BATATA

**Autor:** Luciano Streck

**Orientador:** Arno Bernardo Heldwein  
Santa Maria, 10 de abril de 2006

Determinou-se o início do molhamento e o término da secagem das folhas da cultura da batata com o objetivo de realizar a comparação dos valores reais da duração do período de molhamento por orvalho com os valores estimados a partir da utilização de dados micrometeorológicos e de modelos matemáticos. Foram realizados três cultivos de batata, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, nos períodos de 05/03 a 07/06/2004, de 23/07 a 20/10/2004 e de 10/03 a 09/06/2005. As plantas foram cultivadas distanciadas de 0,3 m entre si e de 0,8 m nas fileiras. A determinação da duração do período de molhamento foliar foi realizada por observação visual nos cultivos de 2004 e por seis sensores eletrônicos de molhamento no cultivo em 2005. Os elementos meteorológicos foram obtidos através de uma estação automática da marca  $\mu$ -Metos instalada a 1,5 m no interior dos cultivos e de um datalogger com sensores psicrométricos instalados no interior do dossel (0,1 m de altura) e acima deste nas alturas de 0,4 m, 1,0 m e 1,5 m em 2004 e de 0,5 m e 1,5 m em 2005, além da medição do saldo de radiação acima do dossel. Na estimativa da duração do período de molhamento foram utilizados os limites de umidade relativa do ar  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87\%$  com a extensão até valores de 70%, sendo considerado início do molhamento foliar o momento em que, entre os valores de 70% e 87% de umidade relativa do ar, ocorreu um incremento mínimo de 3% em meia hora e o término da secagem quando, entre 87% e 70% de umidade relativa do ar, ocorreu um decréscimo maior do que 2% em meia hora. Foram obtidas ainda estimativas através da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar e do déficit de pressão de vapor do ar nas diferentes alturas, após a definição dos seus limites para os momentos de início do molhamento e de término da secagem das folhas. Também foram obtidas estimativas através do modelo CART e dos modelos do balanço de energia de folhas individuais e do modelo de Penman. A partir do acompanhamento visual foi possível verificar que, independente da estação do ano, o processo de molhamento e de secagem das folhas dura em torno de 1h15min e 3h, no anoitecer e na manhã, respectivamente, quando ocorrem condições favoráveis para ambos os processos. Foi verificado que a duração do período de molhamento foliar pode ser estimada a partir do limite de umidade relativa  $\geq 87\%$  com a extensão dos valores até 70%, medidos no cultivo a 1,5 m de altura do solo. Verificou-se também que o limite de 90% de umidade relativa do ar medida acima da cultura não é adequado para estimar o período de molhamento por orvalho, mas pode ser utilizado quando a medição é feita a 0,1 m de altura em meio às plantas, da mesma forma que o limite de 87%. Verificou-se ainda que o modelo CART com correção da velocidade do vento para o nível do topo das plantas pode ser utilizado na estimativa do período de molhamento, com resultados equivalentes à umidade relativa medida a 1,5 m de altura e que o modelo do balanço de energia das folhas é o mais adequado para estimar o período de molhamento por orvalho em um dossel de plantas de batata, embora seja necessário utilizar um número maior de cálculos e de variáveis meteorológicas do que nos outros modelos.

**Palavras-chave:** molhamento foliar, orvalho, observação visual, estimativa, variáveis meteorológicas

## **ABSTRACT**

Doctorate Thesis  
Post Graduate Program in Agronomy  
Federal University of Santa Maria

### **DETERMINING THE LEAF WETNESS DURATION PERIOD IN POTATO CROPS**

**Author:** Luciano Streck

**Advisor:** Arno Bernardo Heldwein  
Santa Maria, RS, Brazil, April 10<sup>th</sup>, 2006.

The beginning of wetness and the end of leaf drying in potato crop was determined aiming to compare observed values of wetness duration with values estimated from meteorological data and from mathematical models. Three growing seasons with potato were performed at the experimental area of the Crop Science Department of the Federal University of Santa Maria, from 05/03 to 07/06/2004, from 23/07 to 20/10/2004, and from 10/03 to 09/06/2005. Plants were grown at a 0.3x0.8 m spacing. The duration of the leaf wetness was observed visually in the 2004 growing seasons and with six electronic wetness sensors in the 2005 growing season. Meteorological data were measured in an automated weather station installed at 1.5 m above the canopy and a datalogger with psychrometric sensors installed within the canopy (0.1 m height), and above it at 0.4 m, 1.0 m and 1.5 m heights in 2004 and at 0.5 m and 1.5 m heights in 2005. Net radiation was also measured above the canopy. For estimating the duration of the wetness period, the relative humidity thresholds of  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$ , and  $\geq 87\%$  with an extension up to values of 70% relative humidity. This extension for relative humidity to values of 70%, considered that the beginning of leaf wetness was assumed when a minimum increase of 3% in relative humidity occurred in the 70% and 87% range, during half an hour, and the end of drying was assumed when a decrease of relative humidity greater than 2% occurred in half an hour in the range of 87% and 70% relative humidity. In addition, estimates from the difference of temperature and dew point temperature, and vapor pressure deficit at different heights were performed after defining the thresholds for the moments of beginning of wetness and end of leaf drying. Estimates were also performed with CART model, leaf energy budget model, and Penman model. Visual observations showed that, regardless of the time of the year, wetness and drying of leaves lasts about 1h15min and 3h at evening and dawn, respectively, when conditions are favorable to both processes. It was verified that the duration of leaf wetness can be estimated using the 87% relative humidity threshold with an extension down to 70% measured in the canopy at 1.5 m height. It was also verified that the 90% relative humidity threshold above canopy is not appropriated to estimate the dew wetness period, but this threshold can be used when is measured at 0.1 m within the canopy and so is the 87% relative humidity threshold. CART model with correction of wind speed to the top canopy can be used to estimate the wetness period, with equivalent results to the relative humidity at 1.5 m height approach. The leaf energy budget model is the most appropriated for estimating dew wetness period in a potato canopy, even though this model needs additional calculation and meteorological variables compared to others models.

**Key words:** leaf wetness, dew, visually observation, estimation, meteorological variables

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b>	Valores numéricos e critérios utilizados para a observação da formação de orvalho nas folhas segundo Heldwein & Krzysch (1997), em cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria, RS.....	32
<b>Quadro 2</b>	Valores numéricos e critérios utilizados para a observação da secagem do orvalho das folhas segundo Heldwein & Krzysch (1997), em cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria, RS.....	33
<b>Quadro 3</b>	Intervalos de valores do coeficiente de confiança <i>c</i> utilizados para a interpretação do desempenho dos modelos na estimativa da duração do período de molhamento foliar ( <i>DPM</i> ), em cultivos de batata, em Santa Maria-RS.....	41

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Hora do início do molhamento foliar por orvalho determinada por observação visual e a sua tendência média em 2004 e determinada pela utilização de sensores de molhamento, em cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS...	44
<b>Figura 2</b>	Média (mIMO) e mediana (IMOMediana) do índice de molhamento das folhas por orvalho, média (mRn) e mediana (Rnmediana) do saldo de radiação ( $\text{cal cm}^{-2} 10 \text{ min}^{-1}$ ), média (mU <sub>2</sub> ) e mediana (U <sub>2</sub> mediana) da velocidade do vento a dois metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ), calculados para cada dez minutos entre as 16 h e as 24 h, para 20 e 25 noites nos períodos de 29/03 a 01/06/04 (a) e de 23/08 a 20/10/04 (b), respectivamente, em cultivos de batata, em Santa Maria-RS.....	45
<b>Figura 3</b>	Hora do término do molhamento foliar por orvalho, determinada por observação visual e a sua tendência média em cultivos de batata de outono e de primavera de 2004 e hora do registro de molhamento pela utilização de sensores no cultivo no outono de 2005, em Santa Maria-RS.....	48



- Figura 4** Média (mIMO) e mediana (IMOmediana) do índice de molhamento das folhas por orvalho, média (mRn) e mediana (Rnmediana) do saldo de radiação ( $\text{cal cm}^{-2} 10 \text{ min}^{-1}$ ), média (mU<sub>2</sub>) e mediana (U<sub>2</sub>mediana) da velocidade do vento a dois metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ), calculados para cada dez minutos entre as 4h30min e as 12h, nos períodos de 09/04 a 05/06/04 (a) e de 23/08 a 20/10/04 (b), em cultivos de batata, em Santa Maria-RS.... 49
- Figura 5** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por observação visual e estimada com os limites de umidade relativa  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%^*$ , num cultivo de batata realizado no outono de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%..... 53
- Figura 6** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por observação visual e estimada pelos limites de umidade relativa  $UR_{\mu M} \geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%^*$ , num cultivo de batata realizado na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%..... 56
- Figura 7** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por sensores de molhamento e estimada pelos limites de umidade relativa  $UR_{\mu M} \geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%^*$  no cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%..... 59
- Figura 8** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por observação visual e medida por sensores de molhamento e estimada pelo limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%^*$ , o qual foi adequado nos dias úmidos, em cultivos de batata realizados no outono (a) e na primavera (b) de 2004 e no outono de 2005 (c), em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%..... 61

- Figura 9** Duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*), determinada por observação visual e a partir dos limites de umidade relativa do ar (*UR*)  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%^*$ , medidos a 0,1 m do solo, no interior de um dossel de plantas de batata, em cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%..... 64
- Figura 10** Duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*), determinada por observação visual e a partir dos valores de umidade relativa do ar (*UR*)  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%^*$ , medidos a 0,4 m do solo, sobre o dossel de plantas de batata, em cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%..... 67
- Figura 11** Duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*), determinada por observação visual e a partir dos limites de umidade relativa do ar (*UR*)  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%^*$ , medidos a 1,0 m de altura do solo, sobre o dossel de plantas de batata, em cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%..... 68
- Figura 12** Duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*), determinada por observação visual e a partir dos limites de umidade relativa do ar (*UR*)  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$ ,  $\geq 87|70\%^*$ , medidos a 1,5 m de altura do solo, sobre o dossel de plantas de batata, em cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%..... 70

- Figura 13** Duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*) detectada por sensores de molhamento e pela estimativa a partir dos valores dos limites de umidade relativa do ar (*UR*)  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$  e  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%*$ , medidos a 1,5 m, 0,5 m, 0,5 m, 0,1 m e a 1,5 m de altura do solo, respectivamente, no perfil do ar do cultivo de plantas de batata, realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%..... 74
- Figura 14** Média da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar (*TTd*; a) e média do déficit da pressão de vapor (*Dpv*; b), nas alturas de 0,1 m, 0,4 m, 1,0 m e 1,5 m, no início do molhamento e no término da secagem das folhas determinado por observação visual, em um cultivo de batata realizado na primavera de 2004, em Santa Maria-RS..... 77
- Figura 15** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por observação visual e estimada pela utilização da diferença (*TTd*) obtida entre a temperatura (*T<sub>ar</sub>*) e a temperatura do ponto de orvalho (*Td*) do ar, nos níveis 0,1 m (a), 0,4 m (b), 1,0 m (c) e 1,5 m (d) de altura, nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS.... 78
- Figura 16** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por observação visual e estimada com valores de déficit de pressão de vapor do ar (*Dpv*), nos níveis 0,1 m (a), 0,4 m (b), 1,0 m (c) e 1,5 m (d) de altura, nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS..... 81
- Figura 17** Duração do período de molhamento (*DPM*) medida pela utilização de sensores de molhamento foliar e estimada pela diferença (*TTd*) entre a temperatura (*T<sub>ar</sub>*) e a temperatura do ponto de orvalho (*Td*) do ar e pelo déficit de pressão de vapor do ar (*Dpv*), nos níveis 0,1 m (a, d), 0,5 m (b, e) e 1,5 m (c, f) de altura, em cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS..... 83
- Figura 18** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por observação visual e estimada pelo modelo CART com os valores de velocidade do vento registrados a 10 m de altura (*U<sub>10</sub>*) (a) e com os valores corrigidos para o topo (*U<sub>topo</sub>*) de um dossel de plantas (b), nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS..... 87

<b>Figura 19</b>	Duração do período de molhamento ( <i>DPM</i> ) determinada por observação visual e estimada pelo modelo CART com os valores de velocidade do vento registrados a 10 m de altura ( $U_{10}$ ) (a) e com os valores corrigidos para o topo ( $U_{topo}$ ) de um dossel de plantas (b), num cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS.....	89
<b>Figura 20</b>	Duração do período de molhamento por orvalho ( <i>DPM</i> ) determinada por observação visual em 2004 e por medida com sensores de molhamento em 2005, e estimada pelo balanço de energia das folhas (BEF) (a, c) e pelo método de Penman (b, d), em cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS.....	91

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Limites de umidade relativa do ar ( <i>UR</i> ) utilizados para a estimativa da duração do período de molhamento foliar ( <i>DPM</i> ) a partir dos valores de <i>UR</i> registrados na estação automática $\mu$ -Metos ( $UR_{\mu M}$ ), em um cultivo de batata realizado no outono de 2004, em Santa Maria-RS.....	52
<b>Tabela 2</b>	Limites de umidade relativa do ar ( <i>UR</i> ), registrada em uma estação meteorológica automática $\mu$ -Metos ( $UR_{\mu M}$ ) e valores dos parâmetros de avaliação do desempenho na estimativa da duração do período de molhamento foliar ( <i>DPM</i> ), em um cultivo de batata realizado na primavera de 2004, em Santa Maria-RS.....	55
<b>Tabela 3</b>	Limites de umidade relativa do ar ( <i>UR</i> ) utilizados para a estimativa da duração do período de molhamento foliar ( <i>DPM</i> ) a partir dos valores registrados na estação automática $\mu$ -Metos ( $\mu M$ ), em cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS.....	58
<b>Tabela 4</b>	Valores dos parâmetros de avaliação do desempenho do limite de $UR_{\mu M} \geq 87 70\%*$ adequado para dias úmidos, na estimativa da duração do período de molhamento foliar ( <i>DPM</i> ), nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS.....	62

<b>Tabela 5</b>	Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho ( <i>DPM</i> ) a partir de valores limites de umidade relativa do ar ( <i>UR</i> ) medida em diferentes alturas em dois cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS.....	65
<b>Tabela 6</b>	Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho ( <i>DPM</i> ) a partir de valores de umidade relativa do ar ( <i>UR</i> ) determinados em diferentes alturas num dossel de plantas de batata cultivado no outono de 2005, em Santa Maria-RS.....	73
<b>Tabela 7</b>	Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho ( <i>DPM</i> ) a partir dos valores da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar ( <i>TTd</i> ) e dos valores de déficit de pressão de vapor d'água no ar ( <i>Dpv</i> ), medidos em diferentes alturas no interior e acima de dois cultivos de batata no ano de 2004, em Santa Maria-RS.....	79
<b>Tabela 8</b>	Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho ( <i>DPM</i> ) a partir dos valores da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar ( <i>TTd</i> ) e dos valores de déficit de pressão de vapor d'água no ar ( <i>Dpv</i> ), medidos em diferentes alturas no interior de um cultivo de plantas de batata, no outono de 2005, em Santa Maria-RS.....	84
<b>Tabela 9</b>	Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho ( <i>DPM</i> ), a partir da utilização do modelo CART com os valores de velocidade do vento registrados a 10 m de altura ( $U_{10}$ ) e com os valores corrigidos para o topo ( $U_{topo}$ ) de um dossel de plantas, nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS.....	88
<b>Tabela 10</b>	Avaliação dos valores de duração do período de molhamento por orvalho ( <i>DPM</i> ), estimada pelos métodos do balanço de energia das folhas (BEF) e pelo método de Penman, nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS.....	90

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo I</b>	Modelos para a determinação não destrutiva da área das folhas de batata ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	99
<b>Anexo II</b>	Comparação entre as observações visuais e as medidas do início do molhamento e do término da secagem das folhas de batata.....	104
<b>Anexo III</b>	Índice de área foliar ( <i>IAF</i> ) e altura do dossel de plantas, determinados por medição e por interpolação diária, para o cultivo de batata realizado no outono (a) e na primavera (b) de 2004 e no outono (c) de 2005, em Santa Maria-RS.....	106
<b>Anexo IV</b>	Umidade volumétrica do solo $\theta$ verificada a 0,20 m e 0,02 m de profundidade e valores de precipitação pluviométrica, observados nos cultivos de batata realizados no outono (a) e na primavera (b), no ano de 2004, em Santa Maria-RS.....	107

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
2.1 Determinação da duração do período de molhamento nos cultivos de batata.....	18
2.2 Meios de determinação da duração do período de molhamento dos cultivos.....	20
2.2.1 Sistemas eletrônicos com sensores de molhamento.....	20
2.2.2 Observação visual do molhamento foliar.....	22
2.2.3 Modelos para estimativa da duração do período de molhamento.....	23
2.2.3.1 Modelos empíricos de estimativa.....	23
2.2.3.2 Modelos analíticos de estimativa.....	26
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
3.1 Descrição do local e dos cultivos realizados.....	28
3.2 Determinação das variáveis meteorológicas.....	29
3.3 Determinação da duração do período de molhamento dos cultivos de batata.....	32
3.3.1 Utilização de observações visuais.....	32
3.3.2 Utilização da umidade relativa do ar.....	33
3.3.3 Utilização da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar e do déficit de saturação de vapor do ar.....	34
3.3.4 Utilização do modelo CART.....	34
3.3.5 Utilização de modelos baseados no balanço de energia.....	35
3.4 Determinações fenológicas e fenométricas.....	39
3.5 Avaliação dos modelos para estimativa da duração do período de molhamento.....	40
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	43
4.1 Determinação do molhamento e da secagem das folhas de batata por observação visual e por sensores de molhamento foliar.....	43
4.2 Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho em cultivo de batata a partir de valores de umidade relativa do ar.....	51
4.2.1 Estimativa da <i>DPM</i> através da <i>UR</i> medida em uma estação automática.....	51

4.2.2 Estimativa da <i>DPM</i> através da <i>UR</i> medida em diferentes alturas no perfil do ar.....	62
4.3 Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho através da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho e do déficit da pressão de vapor do ar.....	75
4.4 Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho através do modelo CART e através de modelos com cálculo do balanço de energia.....	86
4.4.1 Estimativa da <i>DPM</i> através do modelo CART.....	86
4.4.2 Estimativa da <i>DPM</i> através do balanço de energia de folhas individuais e através do modelo de Penman.....	90
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>92</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>94</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>99</b>



# 1 INTRODUÇÃO

A batata tem grande importância sócio-econômica em diversos países do mundo. Segundo o Centro Internacional de La Papa (CLAURE, 1996), na última década do século XX a população mundial baseou sua alimentação em quatro produtos, sendo eles: trigo, arroz, milho e batata. No Brasil, o cultivo e o consumo de batata se concentram nas regiões Sul e Sudeste. Na região central do Rio Grande do Sul (RS), um número expressivo de agricultores dedica-se a essa cultura, fato que revela a sua importância econômica e social, principalmente nos municípios de Silveira Martins, Ivorá, Júlio de Castilhos, Restinga Seca, Itaara, São Martinho da Serra e Santa Maria. Nessa região do RS, a incidência de microrganismos e de pragas é muito freqüente, interferindo negativamente na produção de tubérculos tanto para consumo quanto para novos plantios. Dentre as doenças, que ocorrem na parte aérea das plantas dessa região, merecem destaque a requeima ou mela, causada por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, e a alternaria ou pinta preta, causada por *Alternaria solani* (Ell. & Mart.).

De um modo geral, para prevenir prejuízos com as doenças, os produtores têm se utilizado de um calendário semanal, estabelecendo um intervalo máximo de sete dias entre as aplicações de fungicidas (BISOGNIN, 1996). Assim, a partir do intervalo de tempo, que normalmente é o recomendado pelos fabricantes dos defensivos agrícolas (REIS, 2003) e temerosos com o potencial destrutivo das doenças, os agricultores têm realizado aplicações a intervalos cada vez menores, chegando a intervalos de dois a três dias (NAZARENO et al., 1999).

Com as aplicações freqüentes de defensivos agrícolas, o custo de produção torna-se elevado, bem como são aumentados os riscos de poluição do ambiente e de intoxicação do produtor. Nas últimas décadas, visando contornar as situações de risco, tem sido despendidos mais esforços na busca de sistemas de alertas que possam minimizar e otimizar a utilização dos produtos químicos destinados à defesa dos cultivos agrícolas. Conforme Fry & Spielman (1991), os sistemas de tomada de decisão a respeito do momento de aplicação de defensivos agrícolas, precisam ser elaborados com base nas variáveis meteorológicas e, se possível, devem considerar aspectos importantes como: o grau de resistência das cultivares, a relação entre a severidade e o dano econômico causado por essas moléstias e as características do patógeno. Entretanto, as condições ambientais são determinantes, principalmente, para as doenças com capacidade destrutiva elevada e com característica de proliferação e

alastramento denominado explosivo. Essas doenças podem passar despercebidas no cultivo (BEDENDO, 1995) e a sua identificação ocorrer quando a lavoura já estiver com seu potencial produtivo comprometido (BERGAMIN FILHO & AMORIM, 1999). Dessa forma, a determinação das variáveis importantes no processo epidemiológico, deve ser realizada de tal maneira que os resultados obtidos sejam acurados e de boa precisão, tanto por estimativa, quanto por monitoramento. Além disso, a informação gerada deve ser rapidamente disponibilizada aos produtores. Isso é condicionante para o sucesso na utilização e na elaboração de um modelo previsor (SUTTON, 1988).

Para a maioria dos modelos previsores é indispensável o conhecimento do período em que a parte aérea da cultura permanece molhada. Isso se deve ao fato de que essa variável é imprescindível para o sucesso da infecção dos tecidos das plantas de batata por doenças, como a requeima causada por *Phytophthora infestans*. Entretanto, a ocorrência de orvalho, que é uma das formas mais comuns da ocorrência do molhamento, está compreendida entre dois momentos distintos, não somente pela condição de condensação e evaporação de água, mas também pela variação na intensidade de atuação das variáveis meteorológicas nos dois processos (WU et al., 2001). Dessa forma, os principais erros podem acontecer no início das noites e no decorrer das manhãs, devido à resposta dos modelos de estimativa às mudanças rápidas que ocorrem nas condições do ambiente (WU et al., 2001). Por essa razão, a duração do período de molhamento torna-se uma variável com determinação problemática e estimativa difícil.

As dificuldades na determinação do molhamento foliar são evidenciadas mesmo com a utilização de sensores acoplados a estações meteorológicas automáticas. Os sensores de molhamento são uma das formas mais difundidas e atuais que, no entanto, apresentam algumas limitações e problemas (HELDWEIN, 1993). Essas limitações estão ligadas à resposta distinta dos sensores e das folhas às variações das condições do ambiente, devido às diferentes características físicas e químicas das suas superfícies. Assim, podem ser registrados valores menos representativos do período em que realmente ocorre molhamento foliar (CAMPBELL & MADDEN, 1990).

Além das peculiaridades anteriormente comentadas, na atualidade são poucas as estações meteorológicas oficiais que determinam a duração do período de molhamento (*DPM*), seja por orvalho, neblina ou chuva. Para a *DPM*, se comparado às outras variáveis meteorológicas, ainda existem poucos padrões e valores de referência. Devido a esse fato, tem-se procurado obter os valores de *DPM* por estimativas, nas diferentes espécies agrícolas cultivadas a campo. Dessa forma, considerando-se a importância da *DPM* nos sistemas de

alertas e, tendo em vista a sua determinação para fins de minimizar e otimizar a utilização de defensivos agrícolas no controle de epidemias, como as de requeima, que podem causar sérios prejuízos aos produtores da região central do RS, foi realizado um estudo da duração do período de molhamento por orvalho da parte aérea da cultura da batata, a partir de variáveis micrometeorológicas em cultivos de batata. Para isso o trabalho teve os seguintes objetivos:

- determinar o início do molhamento e o término da secagem das folhas de batata através de observações visuais e de medição com o auxílio de sensores eletrônicos;
- verificar a adequação da utilização de alguns valores de umidade relativa do ar como limites para a estimativa da duração do período de molhamento por orvalho em dosséis de plantas de batata;
- estimar a duração do período de molhamento por orvalho a partir dos valores da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar e dos valores do déficit de pressão de vapor do ar;
- testar e avaliar modelos matemáticos empíricos e analíticos na estimativa da duração do período de molhamento foliar.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Determinação da duração do período de molhamento nos cultivos de batata**

No Brasil, ainda estão sendo desenvolvidos algoritmos e programas que possam servir como alertas para a ocorrência dos eventos fitossanitários adversos, contudo, alguns poucos já se encontram em operação. Como exemplos podem ser citados: o sistema de alertas da EPAGRI, utilizado na região de São Joaquim-SC, para prever a aplicação de fungicidas no controle da sarna da macieira (KATSURAYAMA et al., 1997) e o sistema de suporte à tomada de decisão para o uso de fungicidas na cultura do trigo, da EMBRAPA Trigo, de Passo Fundo-RS (FERNANDEZ & PICININI, 1999). No entanto, ainda são poucos os esforços em busca de um sistema acurado que possa contemplar a cultura da batata e servir como suporte para a tomada de decisão pelos seus produtores na utilização dos defensivos

agrícolas. Conseqüentemente, também são escassas as pesquisas sobre a determinação da duração do período de molhamento (*DPM*) da parte aérea das plantas de batata.

Para os cultivos no nordeste do estado do RS, Katsurayama & Boneti (1996) utilizaram os valores de precipitação e o número de horas em que a umidade relativa do ar (*UR*) permaneceu acima de 90 %, na obtenção dos valores de *DPM* por estimativa, ao testarem o modelo BLITECAST, de Krause et al. (1975), no controle de requeima da batata. Costa et al. (2002), avaliaram o desempenho do modelo de previsão de Wallin (1962), no controle da requeima da batata em Viçosa e obtiveram seus dados de *DPM* a partir de um termohigrohumectógrafo. Ao serem comparados os valores de *DPM* medidos e estimados pelos valores de *UR* acima de 90%, Costa et al. (2002) verificaram que a estimativa dos valores de *DPM*, preconizada pelo modelo de Wallin (1962), desconsiderava o molhamento foliar da batata que ocorria nos períodos com *UR* menor, isto é, no intervalo de 90% até em torno de 80%. Assim, os valores medidos de *DPM* podem ter causado uma superestimativa do desenvolvimento da doença, em relação aos valores de *DPM* que seriam estimados pela utilização da *UR*. Já Nazareno et al. (1999), testaram o sistema COLPAM 40, desenvolvido em Passo Fundo-RS. Segundo o fabricante, esse sistema procura integrar os valores das variáveis meteorológicas, obtidas por sensores de temperatura e de indicação da presença de água livre, aos parâmetros biológicos de *Phytophthora infestans*. Os resultados obtidos indicaram, como melhor intervalo entre aplicações de defensivos para os cultivos de batata, períodos muito próximos ou menores do que os intervalos das aplicações semanais, para a região de Curitiba-PR.

Verifica-se assim, que os valores de *DPM* medidos podem ser inadequados ao modelo de previsão de evento fitossanitário testado. Por outro lado, os valores estimados de molhamento podem ser pouco representativos da *DPM* que realmente ocorre sobre os cultivos de batata. Provavelmente, essa discordância entre modelos e estimativas pode ser reduzida pela utilização de um sistema desenvolvido e adaptado para a região de cultivo. Assim, as características locais podem ser incorporadas no modelo de previsão. No entanto, com isso não se descarta a possibilidade de serem utilizados os modelos existentes, desde que sejam testados e, se necessário, reformulados ou plenamente adaptados ao local de sua utilização.

A duração do período de molhamento dos cultivos de batata, juntamente com a temperatura do ar, são as principais informações para os modelos de previsão dos sistemas de alertas fitossanitários (CAMPBELL & MADDEN, 1990). Por essa razão seus desvios, por menores que sejam, podem resultar em erros consideráveis no resultado final do modelo.

Dessa forma, a sua determinação deve ser realizada de maneira que sejam obtidos valores com elevada precisão e acurácia.

## **2.2 Meios de determinação da duração do período de molhamento dos cultivos**

A determinação dos valores de *DPM*, calculada pelo tempo decorrido entre o início do molhamento foliar e o término da secagem das folhas da cultura, pode ser realizada por observação visual, registro mecânico, medida através de sistemas eletrônicos e por cálculos de estimativa a partir de variáveis meteorológicas ou micrometeorológicas. Dentre esses meios de obtenção da ocorrência de orvalho, os métodos mais difundidos são os registros eletrônicos e os cálculos de estimativa. A observação visual também é um método importante de determinação dos valores de *DPM*. No entanto, a sua prática é muito trabalhosa e somente é justificável em pesquisa, em que é recomendável como referência de comparação ou teste dos demais sistemas ou formas de determinação dos valores de *DPM*, utilizáveis em sistemas operacionais, tais como os de medida ou registro por sistemas eletrônicos ligados a sensores de molhamento e os de estimativa através de variáveis meteorológicas.

### **2.2.1 Sistemas eletrônicos com sensores de molhamento**

A utilização de sensores de molhamento foliar, a partir da aquisição eletrônica dos dados, oferece algumas vantagens como a praticidade na obtenção dos valores de *DPM*. No entanto, é de bom senso que seja realizada uma avaliação criteriosa dos dados e, se possível, o acompanhamento do molhamento e da secagem das folhas em alguns dias para testar o sistema eletrônico, possibilitando a averiguação da resposta dos registros eletrônicos em relação aos dados observados. Sistemas eletrônicos podem sofrer interferências eletromagnéticas ou mesmo problemas no fornecimento de energia. Esses fatos podem resultar em falhas e registros errôneos. Os sistemas eletrônicos com sensores de molhamento têm sido difundidos, principalmente, na forma de um sensor adicional às estações meteorológicas automáticas.

Os sensores de molhamento mais comumente utilizados permitem a determinação indireta do molhamento das folhas da cultura a partir do molhamento de uma placa de PVC ou outro material sintético, com eletrodos em forma de pente encaixados alternadamente, sem contato físico entre si. Com a ocorrência de molhamento na superfície da placa, o circuito entre os eletrodos é fechado, permitindo a passagem de corrente elétrica. Enquanto o circuito

estiver fechado, o sinal elétrico gerado é identificado e ampliado pelo sistema eletrônico e registrado como molhamento da superfície. O registro somente é cessado quando ocorre a secagem da superfície do sensor, eliminando o contato entre os eletrodos.

A utilização dos sensores de molhamento é aconselhada desde que esses sejam pintados com tinta látex (LAU et al., 2000; SENTELHAS et al., 2004a). A pintura deve ser com três a cinco demãos de tinta (DAVIS & HUGHES, 1970, citado por LAU et al., 2000; SENTELHAS et al., 2004a). Além da pintura, Sentelhas et al. (2004a) aconselham que os sensores sejam submetidos a um tratamento térmico, sob temperatura de 60 a 70 °C por 12 horas, para remover ou desativar alguns componentes higroscópicos da tinta utilizada. O procedimento de pintura dos sensores permite que as gotículas de água que se formariam isoladas sobre as partes sensíveis sejam distribuídas pela porosidade da camada de tinta. Além disso, os sensores pintados com látex apresentam uma resposta bastante similar a resposta das folhas das culturas à radiação, ao vento e à temperatura do ponto de orvalho (LAU et al., 2000).

Os sensores de eletrodos intercalados pintados podem ser considerados os mais adequados e aconselhados na determinação dos valores de *DPM*. Sensores com outros materiais sensíveis, como os que possuem uma fita de papel filtro interligando os eletrodos de aço inox, podem ser mais problemáticos e menos confiáveis (STRECK et al., 2003).

Além da pintura, outro fator importante a ser considerado na utilização de sensores acoplados a sistemas eletrônicos, para a determinação da *DPM* de uma cultura, são os procedimentos para a instalação dos sensores. Segundo Lau et al. (2000) a direção de instalação dos sensores é menos relevante se comparada ao ângulo horizontal de sua instalação, pois os sensores pintados instalados na direção leste apresentaram a secagem antecipada somente em cerca de 20 minutos, se comparada aos sensores instalados na direção oeste. Já o ângulo de instalação deve ser em torno de 30° (LAU et al., 2000; SENTELHAS et al., 2004b), pois, além de permitir que sejam drenados os excessos de água, pode ser considerada a posição mais aproximada da disposição das folhas na estrutura das plantas.

Outro fator relevante na instalação dos sensores de molhamento no interior de um cultivo agrícola é a altura de sua localização em relação à altura das plantas, pois as condições microambientais do dossel são variáveis de acordo com o nível dentro do dossel das plantas (MONTEITH & UNSWORTH, 1990; HUBER & GILLESPIE, 1992). Dessa forma, procurando explorar as variações existentes na formação de orvalho sobre as folhas do topo e em outras alturas no interior do dossel vegetativo, Trentin (2006) verificou que os valores de *DPM* no topo e no interior da cultura da batata não apresentaram diferenças significativas

entre si, embora houvesse uma tendência de valores de *DPM* maiores no interior do dossel nos períodos próximos ao final do ciclo de cultivo. Pode-se inferir que a instalação dos sensores na cultura da batata deve ser realizada no terço superior das plantas, em local relativamente abrigado do vento e exposto a céu aberto de forma que permita uma perda radiativa de energia mais efetiva do que sobre folhas cobertas no período da noite.

A instalação dos sensores de molhamento deve ser realizada de forma criteriosa para que os dados coletados possam ser representativos do molhamento que ocorre sobre as superfícies das folhas das plantas. Entretanto, a utilização de equipamentos, no interior dos cultivos, pode causar alguns transtornos para os produtores, no momento da realização dos tratamentos culturais. Além disso, o envolvimento na manutenção e no manuseio dos equipamentos de aquisição de dados e de seus programas de coleta, normalmente é de pouco agrado para os agricultores (KIM et al., 2002). Nesse contexto, Sentelhas et al. (2005) verificaram correlação entre os valores de *DPM* obtidos nas culturas do café, milho, maçã e melão, com os valores de *DPM* determinados em estação meteorológica oficial. Os valores de *DPM* da estação meteorológica foram obtidos por sensores de molhamento, instalados com ângulos de 30° e de 45°, a 0,3 m de altura e sobre solo gramado. Os resultados, sob esta condição de instalação dos sensores, permitiram aventar que os valores de *DPM* medidos nas estações oficiais podem vir a ser utilizados como dados padrões de *DPM*. Dessa forma, esses dados poderiam ser repassados aos agricultores das regiões de abrangência das estações meteorológicas. Entretanto, Sentelhas et al. (2005) alertam sobre a necessidade de serem realizados mais estudos nessa área. De qualquer forma, a *DPM* registrada com sistemas eletrônicos tende sempre a ser ligeiramente menor do que a *DPM* observada visualmente, visto que o molhamento primeiro precisa ser suficiente para fechar o circuito elétrico no sensor (HELDWEIN, 1993).

### **2.2.2 Observação visual do molhamento foliar**

A utilização de observações visuais, provavelmente é um dos meios menos adotados na determinação da *DPM*. Esse procedimento pode ser considerado inconveniente e muito laborioso. Um dos problemas das observações visuais são as vistorias quase contínuas que precisam ser realizadas no campo experimental, ou mesmo na lavoura, no caso de um cultivo comercial. Essas freqüentes vistorias, para verificação da formação de orvalho, em geral a intervalos não maiores do que 10 minutos, podem interferir no balanço de energia noturno do dossel vegetativo devido à emissão de radiação pelo corpo do observador no momento da

observação e a necessidade de se portar uma fonte de luminosidade. Outros aspectos negativos das observações visuais são os danos que podem ser causados ao dossel de plantas devido ao trânsito constante do observador, podendo ocorrer mudanças na disposição das hastes e das folhas nas plantas, além da formação de caminhos, nos quais o solo torna-se compactado e permanece exposto.

Apesar desses problemas, os dados de *DPM*, obtidos pelas observações visuais, freqüentemente são utilizados como referência, principalmente para a averiguação dos resultados obtidos por outros métodos de determinação do molhamento foliar (SENTELHAS et al., 2004c). Nesse contexto, Heldwein & Krzysch (1997) compuseram uma escala, a partir da elaboração de critérios básicos, com os quais se pode realizar o acompanhamento do molhamento foliar por ocasião da formação do orvalho e da secagem das folhas pela manhã com a evaporação da água das superfícies foliares. A partir dos critérios desenvolvidos, o erro máximo para a observação do início do molhamento foliar foi inferior a 15 minutos. Já para o término da secagem, o erro pode ser de cerca de até 20 minutos (HELDWEIN & KRZYSCH, 1997).

### **2.2.3 Modelos para estimativa da duração do período de molhamento**

#### **2.2.3.1 Modelos empíricos de estimativa**

Uma das formas mais difundidas para estimar a *DPM*, parte do princípio de que quando a *UR* medida a 1,5 m de altura estiver acima de 90 %, ocorre molhamento foliar. No entanto, em diversos casos, o molhamento foliar ocorre quando os valores de *UR* estão abaixo desse valor (COSTA et al., 2002), e provavelmente, em alguns casos, para os valores de *UR* acima de 90 % não exista molhamento. Gleason et al. (1994), comparando valores de *DPM* medidos por sensores e obtidos por diferentes limites de *UR*, concluíram que essa variável oferecia baixa confiabilidade para utilização nas estimativas de *DPM*. Dessa forma, o limite de *UR* de 90 % deve ser utilizado com certa resguarda (WITTICH, 1995), pois alguns experimentos têm mostrado que o limite de 90 % de *UR* pode apresentar valores de acurácia e de precisão insatisfatórios para a determinação da *DPM* (ANDRADE-PIEDRA, et al., 2005). Entretanto, Kruit et al. (2004) verificaram bons resultados com a utilização do valor de 87 % para o limite de *UR*, como alternativa ao limite de 90 %. A partir do limite de 87 %, ainda foram considerados limites inferiores que se estendem até valores de 70 % de *UR*, dependendo do momento em que era verificada uma variação mais acentuada da *UR* num



curto espaço de tempo (KRUIT et al., 2004). Dessa forma, obtiveram resultados similares aos dados de *DPM* observados e estimados pelo balanço de energia proposto por Pedro Jr. & Gillespie (1982).

Assim, como o local de instalação dos sensores de molhamento pode interferir nos valores de *DPM*, o local em que são medidos os valores de *UR* pode interferir no valor de *DPM* estimado. Andrade-Piedra et al. (2005) constataram a necessidade de adequação do limite de *UR* para a estimativa da *DPM*, pois procuravam testar um modelo de simulação da requeima em batatas, no qual a entrada de dados de *DPM* era pela estimativa com o limite de *UR* de 90 %, medida no interior do dossel das plantas de batata. No entanto, para a localidade em que foi realizado o teste do modelo de simulação da requeima, as medidas de *UR* eram realizadas somente a 1,5 m de altura. Dessa forma, a adequação do limite de *UR* apontou o valor de 85 % como limite para a estimativa da *DPM* para a região dos Andes no Peru (ANDRADE-PIEDRA et al., 2005).

Portanto, pode ser verificado que a utilização de limites de *UR*, para a determinação da *DPM*, pode resultar em estimativas pouco precisas. Dessa forma, para que possam ser obtidos valores de *DPM* relativamente confiáveis, é prudente que sejam realizados testes para a adequação dos limites de *UR* às condições dos locais de cultivo de batata.

Os valores de temperatura do ponto de orvalho do ar (*T<sub>d</sub>*) também são subsídios para a estimativa da *DPM* (GILLESPIE et al., 1993). Para que ocorra a condensação de água no ar, os valores de *T<sub>d</sub>* devem ser iguais aos valores de temperatura do ar (*T<sub>ar</sub>*). Entretanto, a condensação sobre as folhas ocorre antes da igualdade entre os valores de *T<sub>d</sub>* e de *T<sub>ar</sub>*, pois as superfícies das folhas se resfriam mais rapidamente do que o ar. Dessa forma, a temperatura da superfície das folhas no período de resfriamento alcança valores de 0,5°C a 2,8°C inferiores a *T<sub>ar</sub>* (HELDWEIN, 1993). Como a temperatura do ar diminui, principalmente devido à perda de energia de suas moléculas para as superfícies das folhas, quando o ar úmido entra em contato com as folhas resfriadas abaixo do valor de *T<sub>d</sub>*, ocorre a condensação de água sobre a folha. Conseqüentemente, o momento da identificação visual do molhamento sobre as plantas não corresponde a valores nulos da diferença entre a *T<sub>ar</sub>* e a *T<sub>d</sub>*. Para a utilização da *T<sub>d</sub>* na estimativa da *DPM*, Gillespie et al. (1993) sugerem que a *T<sub>d</sub>* seja associada à temperatura do ar (*T<sub>ar</sub>*) pela diferença entre a *T<sub>ar</sub>* e a *T<sub>d</sub>*.

A partir da diferença entre a *T<sub>ar</sub>* e a *T<sub>d</sub>*, também denominada de depressão da temperatura no ponto de orvalho (*TTd*), podem ser selecionados critérios para o momento do início da formação de orvalho e o término da secagem das folhas. Para a cultura do algodão em Piracicaba-SP, Sentelhas et al. (2004c) verificaram que o molhamento e a secagem das

folhas ocorreram a partir de valores de  $TTd \leq 2,0$  °C e  $\geq 3,8$  °C, respectivamente. Os resultados de estimativa dos valores de  $DPM$ , a partir dos limites de  $TTd$ , foram bastante próximos dos valores de  $DPM$  medidos com sensores.

Nos altiplanos peruanos, Forbes et al. (2002)\*, em seu projeto de pesquisa, sugeriram a estimativa da  $DPM$  a partir do déficit de pressão de vapor ( $Dpv$ ), também denominado déficit de saturação do ar. Para isso, os autores relataram a observação de molhamento foliar sob a condição de ambiente com valores de  $T_{ar}$  de 20 °C e de  $UR$  de 90 %. Essa condição ambiente caracterizou um  $Dpv$  de 2,35 hPa. Dessa forma, o valor de 2,35 hPa foi estabelecido como limiar entre a existência e ausência de orvalho sobre as superfícies. Portanto, quando a  $T_{ar}$  for menor do que 20 °C o valor de  $UR$  também será menor para a condição de ambiente em que o  $Dpv$  for 2,35 hPa.

A predição da  $DPM$  pode ser obtida por modelos empíricos locais com boa acurácia e precisão, principalmente quando se dispõem de dados medidos das variáveis meteorológicas locais e da possibilidade de comparação dos valores de  $DPM$  real com os valores das estimativas, para averiguação da sua confiabilidade (CROWE et al., 1978). Crowe et al. (1978) obtiveram bons resultados de estimativa da  $DPM$ , numa estação meteorológica de Pendleton, Oregon, EUA, com a utilização de um modelo que considerava valores de  $UR$ , de velocidade do vento e de temperatura mínima do ar. No entanto, os valores de acurácia foram baixos quando o modelo foi testado em outros locais próximos a Pendleton.

Na mesma linha de pesquisa de Crowe et al. (1978) e objetivando a estimativa da  $DPM$  a partir de variáveis meteorológicas simples, Gleason et al. (1994) desenvolveram um modelo empírico que considera dados de  $UR$ ,  $T_{ar}$ ,  $Td$  e velocidade do vento a 10 m ( $U_{10}$ ). O modelo foi denominado de CART/SLD, em que a sigla CART diz respeito a um procedimento não paramétrico utilizado na seleção das variáveis, segundo a sua importância na  $DPM$  e subsequente classificação destas variáveis em uma “árvore” de regressão. A Sigla SLD representa o procedimento ‘stepwise’ utilizado na elaboração dos modelos de regressão. O modelo CART/SLD apresentou estimativas mais acuradas e com menor variação do que as estimativas baseadas no limite de  $UR > 90$  % (GLEASON et al., 1994), sendo considerado um modelo mais consistente do que o modelo proposto por Crowe et al. (1978). Para esse modelo empírico, Kim et al. (2002) observaram a possibilidade de utilização em locais distintos e recomendam que os valores de  $U_{10}$  sejam corrigidos para a altura das plantas da cultura utilizada. Com a correção dos valores de  $U_{10}$  foi verificado um incremento no potencial do

---

\*Resultados apresentados no projeto de pesquisa: Improvement of Simulation Model – Use of Vapor Pressure Deficit, divulgado na página eletrônica do Centro Internacional de la Papa, entretanto, não mais encontrada.

modelo CART/SLD em identificar de forma mais acurada os períodos de molhamento. No Brasil, Sentelhas et al. (2004c) observaram que o modelo CART/SLD apresentou um ‘bom’ desempenho, mas inferior ao desempenho das estimativas pela utilização do limite de  $UR > 90\%$  e da  $TTd$ , na região de Piracicaba, na cultura do algodão.

A resposta da utilização de variáveis meteorológicas, isoladas ou em modelos simples, é bastante variável com o local e com o propósito da estimativa dos valores de  $DPM$ . Dessa forma, os resultados das estimativas da  $DPM$  podem não ser suficientemente precisos para uso em sistemas operacionais, pois, mesmo com a utilização de modelos empíricos, que envolvem um maior número de variáveis meteorológicas, as estimativas podem ser pouco representativas da  $DPM$  real, quando os modelos são aplicados em locais diferentes daqueles de sua geração. Entretanto, modelos empíricos são de entendimento simples e assim, facilmente podem ser testados e adequados às condições locais de ambiente. Em contrapartida, os modelos que podem ter sua aplicação difundida em diferentes locais são, em geral, mais complexos. Isso se deve a sua elaboração com base nos princípios físicos que governam os fluxos de energia no dossel de plantas e por isso são denominados de analíticos.

### 2.2.3.2 Modelos analíticos de estimativa

O fluxo de calor latente tem sido utilizado para a determinação da  $DPM$ , permitindo ainda a estimativa do volume de água condensada sobre as superfícies expostas resfriadas. No entanto, é um dos métodos que considera um número maior de variáveis. Segundo Wittich (1995) o balanço de energia pode ser feito considerando o dossel vegetativo dividido em camadas de ar de acordo com suas características. No entanto, para a utilização do cálculo do fluxo de calor latente na estimativa dos valores de  $DPM$ , o dossel é freqüentemente considerado como uma única camada (PEDRO Jr & GILLESPIE, 1982a e 1982b; GILLESPIE & BARR, 1984; HELDWEIN, 1993). Pedro Jr & Gillespie (1982a) testaram um modelo que leva em consideração o dossel vegetativo como uma única camada, sendo calculado o fluxo de calor latente a partir dos dados micrometeorológicos de cultivos de maçã, milho e soja. Os autores verificaram que os erros das estimativas da  $DPM$  foram de 30 e 60 minutos para folhas expostas e sombreadas, respectivamente. A partir do cálculo do balanço de energia para variáveis micrometeorológicas, adaptado para dados obtidos em uma estação meteorológica oficial, a diferença entre os valores estimados e medidos foi menor do que 1,0 h e 1,5 h para as folhas expostas e sombreadas, respectivamente (PEDRO Jr & GILLESPIE, 1982b). Gillespie & Barr (1984) testaram, para a cultura da cebola, a adaptação

do modelo de estimativa desenvolvido por Pedro Jr & Gillespie (1982b) e concluíram que o modelo é passível de utilização em locais e culturas diferentes, sendo necessário somente a adequação da equação de estimativa da temperatura do dossel da cultura, a partir de um período curto de observações. Kruit et al. (2004) testaram o modelo desenvolvido por Pedro Jr & Gillespie (1982a) e observaram que esse modelo apresentou uma pequena superestimativa dos valores de *DPM*, quando comparado aos valores medidos por um sensor de molhamento.

A partir da utilização do balanço de energia, considerando o dossel como uma única camada, Wittich (1995) aplicou três critérios diferentes para a estimativa da temperatura do dossel vegetativo de um pomar de macieiras, na determinação da *DPM* pelo cálculo do fluxo do calor latente. No primeiro critério foi assumido que o dossel vegetativo e a folha mais exposta apresentavam a mesma temperatura (PEDRO Jr & GILLESPIE, 1982a, 1982b). A partir desse critério foram obtidas as estimativas de *DPM* com erros menores que 15 minutos. O segundo critério adotado considerava que o ar e o dossel apresentavam a mesma temperatura, no entanto, a temperatura da folha do topo do dossel era menor do que a do ar e a do dossel. Os valores de *DPM* a partir desse critério foram levemente subestimados. Já o terceiro critério adotado presumia a mesma temperatura para o dossel vegetativo e para o ar, a partir do qual foram obtidas superestimativas da *DPM*, uma vez que a densidade de fluxo de energia na parte inferior da folha foi desprezada (WITTICH, 1995). Entretanto, Wittich (1995) comenta que a utilização desse último critério pode ser útil para cultivos em que ocorre uma condição microambiental mais homogênea e para os casos em que seja necessária uma margem de segurança para a predição da ocorrência de eventos fitopatológicos.

A utilização do método do balanço de energia de Sverdrup (1937), segundo Heldwein (1993), em geral não é usual e quando feita o deve ser com muita cautela, visto que teoricamente pode apresentar erros muito grandes no período noturno (TIERSCH, 1988), com dimensão inaceitável de estimativa de *DPM* (HELDWEIN, 1993) para utilização em serviços de informação agrometeorológica e alertas fitossanitários.

Heldwein (1993) testou um modelo baseado no balanço de energia de folhas individuais, para a estimativa dos valores de *DPM* por orvalho, no dossel de plantas de batata, a partir de variáveis meteorológicas medidas em uma estação meteorológica automática instalada sob condição padrão do serviço de meteorologia. Os resultados para a cultura da batata apontaram para uma subestimativa média de 10 minutos, sendo o erro máximo de estimativa de 1,2 horas. Esse mesmo modelo foi testado para a cultura do girassol e apresentou boa aplicabilidade também para essa cultura.

Dessa forma, apesar dos métodos de determinação dos valores de *DPM* baseados no balanço de energia do dossel das culturas serem complexos e exigirem um número expressivo de variáveis, verifica-se que a aplicabilidade desses modelos não se restringe apenas aos locais onde foram testadas as suas estimativas. No entanto, é de bom senso que sejam testados e avaliados quanto a seu desempenho, anteriormente a sua utilização na predição dos valores de *DPM* das culturas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição do local e dos cultivos realizados

Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29°43'23''S, longitude: 53°43'15''W e altitude: 95 m). O clima da região, conforme a classificação de Köppen, é tipo Cfa: subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (MORENO, 1961). O solo, pertencente à Unidade de Mapeamento São Pedro, é classificado como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico (EMBRAPA, 1999).

Foram realizados três cultivos de batata nos períodos de 05/03 a 07/06/2004 (outono), de 23/07 a 20/10/2004 (primavera) e de 10/03 a 09/06/2005 (outono). A área abrangida por cada cultivo foi de 1500 m<sup>2</sup>. O genótipo utilizado nos cultivos foi a cultivar Asterix. A implantação da cultura foi realizada conforme as técnicas de cultivo de batata recomendadas para a região (BISOGNIN, 1996).

Após o preparo do solo, foram demarcadas as fileiras por sulcos superficiais, espaçados 0,80 m entre si. Em seguida, foi realizada adubação mineral no interior dos sulcos, sendo o adubo imediatamente incorporado ao solo com auxílio de enxada. Foram utilizados 1500 kg ha<sup>-1</sup> de adubo da formulação 7-11-9.

O plantio da lavoura de batata foi realizado sobre o solo adubado nos sulcos, utilizando-se a distância de 0,30 m entre tubérculos-semente na fileira. Os tubérculos foram imediatamente cobertos com solo, formando-se um camalhão de cerca de 0,07 m de altura.

No cultivo no outono de 2004, ocorreu um período de estiagem prolongada, com início no mês de dezembro de 2003 e se estendendo até fim do mês de março de 2004. Para

que fosse assegurada a emergência das plantas, foi realizada uma irrigação por aspersão por ocasião do plantio dos tubérculos no dia 05/03/2004 e outra no dia 24/03/2004. Para os dois experimentos subseqüentes não foram realizadas irrigações.

A amontoa foi realizada aos 19, 22 e 18 dias após a emergência (*DAE*), para o primeiro, o segundo e o terceiro cultivo, respectivamente. O procedimento de amontoa constou de uma adubação em cobertura, seguida pelo aumento na altura e na largura do camalhão das fileiras. Para a adubação de cobertura foram utilizados  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de uréia, que foi distribuída manualmente próxima às plantas de batata. Em seguida, com auxílio de enxadas, foi realizada a aproximação do solo, retirado das entre linhas do cultivo, até as plantas de batata nas fileiras. Além de essa prática ser favorável a tuberização, proteger os tubérculos da exposição à radiação solar e da contaminação por patógenos lavados para o solo, ainda colaborou para a incorporação da adubação em cobertura ao solo.

O controle de doenças e pragas foi realizado preventivamente. A aplicação de defensivos químicos foi realizada para preservar a parte aérea, que é um dos fatores determinantes da caracterização do microambiente do cultivo.

### **3.2 Determinação das variáveis meteorológicas**

Na obtenção das variáveis meteorológicas foram utilizados uma estação automática da marca  $\mu$ -Metos e um aquisitor eletrônico de dados (datalogger) com entrada para 32 canais digitais. A estação automática e os sensores acoplados ao datalogger foram instalados próximos ao centro da área cultivada, distribuídos em aproximadamente  $25 \text{ m}^2$  no lado oeste da linha central que dividia toda área cultivada ao meio no sentido N-S. Esse procedimento foi adotado para minimizar a possibilidade de interferência do vento da direção leste-sudeste, o qual é predominante na região. Além dos dados obtidos com a estação automática e com o datalogger, foram obtidos valores de velocidade do vento a 10 m de altura, a partir dos registros realizados no anemômetro universal da estação meteorológica principal de Santa Maria, localizada a 50 m da área experimental.

Os dados coletados pela estação automática foram a temperatura do ar ( $T_{\mu M}$ , °C), a umidade relativa do ar ( $UR_{\mu M}$ ) e a densidade de fluxo de radiação solar incidente sobre o dossel de plantas ( $Rg_{\mu M}$ ,  $\text{W m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ), os quais foram medidos a 1,50 m de altura. Ainda foram coletados dados do tempo de duração do período de molhamento foliar ( $DPM_{\mu M}$ , minutos), medido no dossel, a 2/3 da altura das plantas, e da precipitação pluvial ( $\text{mm h}^{-1}$ ) e

da velocidade do vento ( $U_{2\mu M}$ ,  $m s^{-1}$ ), medidas a 2,0 m de altura. Todos os dados coletados pela estação automática foram armazenados a intervalos de uma hora.

O aquisitor eletrônico de dados (datalogger) e uma bateria de 45 ampéres foram acondicionados no interior de uma caixa de isopor com capacidade para 100 litros. A caixa de isopor teve uma de suas laterais perfurada, para permitir a entrada dos cabos dos equipamentos de medida. Após a acomodação da caixa de isopor entre duas fileiras de plantas, aproximadamente no centro da área de abrangência da distribuição dos sensores, a mesma foi recoberta com filme plástico para se evitar a entrada da água da chuva. As medidas foram realizadas com a frequência de um segundo e os valores armazenados a intervalos de 10 minutos. Os equipamentos e sensores conectados ao datalogger e as variáveis medidas estão descritas a seguir.

Os dados de temperatura do ar, com termômetro seco ( $T_{ar}$ ) e de temperatura sob termômetro úmido ( $T_w$ ), foram obtidos por pares psicrométricos construídos com sensores de resistência elétrica de platina, Pt-100, conectados ao datalogger por meio de cabos de 10 m de comprimento. Os sensores de platina de cada par, distanciados 0,10 m entre si, foram alojados em mini-abrigos de PVC com ventilação natural. A instalação dos conjuntos de mini-abrigos/pares psicrométricos foi realizada no sentido norte-sul, ficando dispostos com a extremidade aberta voltada para o quadrante sul. Além disso, os mini-abrigos foram recobertos com folhas de espuma isolante provida de uma película refletora de alumínio. Esses procedimentos foram adotados para se evitar a incidência de raios solares sobre os sensores e nas paredes internas dos mini-abrigos. O sensor úmido foi envolto por um cadarço de algodão umedecido mergulhado em um reservatório contendo água, preso junto ao mini-abrigo.

Para a coleta de dados meteorológicos no perfil vertical do dossel, desde próximo do solo até a altura de 1,50 m, foram montadas torres com pares psicrométricos em diferentes níveis. Cada torre foi construída a partir de uma tábua de 0,04 m de espessura, pintada de branco e perfurada a cada 0,05 m. A sustentação dos pares psicrométricos foi feita com ripas de madeira (0,04x0,04 m) presas à torre com parafusos de latão, para agilizar a montagem e a desmontagem. O número de pares psicrométricos utilizados por torre, foi de acordo com as alturas de instalação. Nos cultivos de 2004, a instalação foi realizada nas alturas de 0,10 m, 0,40 m, 1,00 m e 1,50 m acima da superfície do solo que compunha o camalhão das fileiras. No cultivo de 2005, foram utilizados três pares psicrométricos nas alturas de 0,1 m, 0,5 m e 1,5 m. Foram utilizadas alturas fixas devido as plantas das cultivares de batata possuírem, no geral, uma estatura relativamente baixa, atingindo no máximo 0,50 m de altura. Além disso,

são muito suscetíveis ao acamamento por vento e chuva. Outro fator que impediu a utilização da instalação em alturas variáveis de acordo com o crescimento das plantas foi o espaço relativamente grande ocupado pelos mini-abrigos.

No cultivo no outono de 2004 foi utilizada apenas uma torre de pares psicrométricos. Nas épocas de primavera de 2004 e de outono de 2005 foram utilizadas duas torres, ou seja, duas repetições de pares psicrométricos em cada altura de medida, em cada época de cultivo. Além da utilização das torres com pares psicrométricos, ainda foram instaladas mais duas repetições de sensores a 0,10 m de altura do solo no interior de cada cultivo.

A partir dos dados de temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C) e de temperatura do termômetro de bulbo úmido ( $T_w$ , °C), obtidos nos pares psicrométricos, foram calculados os valores de pressão de saturação de vapor ( $es$ , hPa), pressão parcial de vapor ( $e$ , hPa), déficit de saturação ( $Dpv$ , hPa), umidade relativa ( $UR$ ) e temperatura do ponto de orvalho ( $Td$ , °C) do ar, no interior e acima do dossel das plantas, de acordo com as equações a seguir:

$$es = 6,107 \exp\left(\frac{17,2694T_{ar}}{237,3+T_{ar}}\right) \quad (01)$$

$$e = 6,107 \exp\left(\frac{17,2694 T_w}{237,3+T_w}\right) - \gamma(T_{ar} - T_w) \quad (02)$$

$$UR = \frac{e}{es} 100 \quad (03)$$

$$Dpv = es - e \quad (04)$$

$$Td = \frac{237,3 \ln e - 429,41}{19,078955 - \ln e} \quad (05)$$

em que:  $\gamma=0,66 \text{ hPa}^\circ\text{C}^{-1}$  é a constante psicrométrica para psicrômetro não aspirado.

O saldo de radiação ( $Rn$ ) sobre o dossel de plantas de batata foi medido com o auxílio de dois saldo-radiômetros não ventilados (Delta-T). A instalação das hastes dos saldo-radiômetros foi a 1,0 m de altura do solo e de maneira que as partes sensíveis ficassem posicionadas sobre a parte aérea das plantas de batata. Para se evitar a condensação de gotículas no interior das cúpulas dos saldo-radiômetros, periodicamente foram realizadas inspeções para a verificação da necessidade de substituição da sílica usada para a absorção da umidade do interior do equipamento.



No cultivo no outono de 2005, foram destinados 10 canais do datalogger para a coleta de dados do número de horas da ocorrência de molhamento da parte aérea das plantas de batata. Os dados de molhamento foram coletados por dez sensores alojados próximo das plantas. Para isso as plantas foram divididas em três alturas, sendo  $h$  a altura máxima do dossel vegetativo. Em seguida foram instalados quatro sensores na parte inferior do dossel, definida como  $0,25 h$ , três sensores na parte mediana do dossel, definida como  $0,50 h$  e três sensores na parte superior do dossel, definida como  $1,00 h$ . O momento do início do molhamento e do término da secagem foi determinado pela média da hora em que ocorreu o molhamento e a secagem das superfícies dos seis sensores que se encontravam instalados a  $0,50 h$  e a  $1,00 h$ .

### 3.3 Determinação da duração do período de molhamento dos cultivos de batata

#### 3.3.1 Utilização de observações visuais

As observações visuais foram realizadas conforme os critérios da escala proposta por Heldwein & Krzysch (1997), a qual foi elaborada para a determinação do molhamento e da secagem das folhas da batata. A escala, com os valores numéricos e seus respectivos critérios, está apresentada a seguir nos Quadros 1 e 2.

**Quadro 1** Valores numéricos e critérios utilizados para a observação da formação de orvalho nas folhas, segundo Heldwein & Krzysch (1997), em cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria, RS.

Valores	Crítérios para acompanhamento do molhamento foliar.
1,0	Seca, sem indício algum de formação de orvalho.
1,2	Início pressuposto, nuance da cor da folha em parte mais escura. Considerado válido apenas se confirmado na observação seguinte.
1,5	Início da formação do orvalho. Gotículas de orvalho quase imperceptíveis em menos de 10% da superfície foliar.
2,0	Confirmação do início da formação de orvalho. Gotículas quase imperceptíveis em até próximo de 50% da superfície da folha.
2,5	Gotículas de água perceptíveis em aproximadamente 50% da folha.
3,0	Rociada. Cobertura com gotículas de água em mais de 50% da superfície da folha.
4,0	Molhamento. Mais de 50% da folha apresentando manchas com filme contínuo de água.

Fonte: Heldwein & Krzysch (1997), Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, n.2, p.207-214.

**Quadro 2** Valores numéricos e critérios utilizados para a observação da secagem do orvalho das folhas segundo Heldwein & Krzysch (1997), em cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria, RS.

Valores	Crítérios para acompanhamento da secagem foliar
3,0	Molhamento. Mais de 50% da folha apresentando filme contínuo de água.
2,5	Aproximadamente 50% da folha apresentando molhamento.
2,0	Secagem. 50% a 20% da superfície da folha ainda se apresenta molhada.
1,8	Secagem avançada. 20% a 10% da folha ainda molhada ou coberta com gotas isoladas.
1,5	Final do molhamento (término da secagem). Menos de 10% da folha coberta com algumas gotas isoladas de água.
1,0	Ausência completa de molhamento.

Fonte: Heldwein & Krzysch (1997), Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, n.2, p.207-214.

As observações visuais foram realizadas a intervalos de 15 minutos, em três folhas expostas a céu aberto por planta, em três plantas marcadas ao acaso na área cultivada. Uma das folhas localizava-se no topo da planta, a 1,00 *h* da altura, e duas folhas, dispostas nos lados sul e norte da fileira, na altura de 0,67 *h*. O momento do início do molhamento e do término da secagem foi determinado pelo cálculo da média aritmética dos valores da escala observados nas folhas das nove repetições. As observações se iniciavam às 17h30min. Os valores de 1,5 e 1,2 da escala foram adotados como limiares para o início do molhamento e o término da secagem das folhas, respectivamente. Dessa forma, a *DPM* obtida por observação visual e utilizada como referência na comparação com os valores obtidos pelos diferentes modelos, foi computada pelo período de tempo entre o momento da confirmação do início do molhamento foliar e o momento do término da secagem da folhagem das plantas de batata.

### 3.3.2 Utilização da umidade relativa do ar

A partir dos valores de umidade relativa (*UR*), calculados com os dados dos pares psicrométricos e dos dados de *UR* medidos com a estação automática  $\mu$ -Metos, foram feitas estimativas da *DPM* para os três cultivos realizados. A *DPM* foi estimada a partir do número de horas em que a *UR* apresentou valores  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$ . Além da utilização de limites de *UR* fixos, ainda foi utilizado o limite de *UR*  $\geq 87\%$  com extensão até valores de 70% (*UR*  $\geq 87|70\%$ ), proposto por Kruit et al. (2004). Para o limite de *UR*  $\geq 87|70\%$  foi

considerado que o período em que as superfícies das folhas apresentavam-se molhadas abrangeu valores de  $UR \geq 87\%$  e ainda um período entre os valores de 70% e 87% de  $UR$ . Os critérios para a identificação do molhamento no intervalo de  $UR$  entre 70% e 87% consideraram como início do molhamento foliar o momento em que, entre os valores de 70 % e 87 % de  $UR$ , ocorreu um incremento mínimo de 3 % na  $UR$ , em meia hora. O término da secagem foi considerado quando no período da secagem, no intervalo de 87 % e até próximo de 70 %, ocorreu um decréscimo maior do que 2 % da  $UR$ , em meia hora.

### **3.3.3 Utilização da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar e do déficit de saturação de vapor do ar**

Na obtenção dos valores da diferença entre temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar ( $TTd$ ) e do déficit de saturação de vapor ( $Dpv$ ) foram utilizados os dados de  $T_{ar}$  e de  $T_w$  determinados pelos pares psicrométricos instalados nas alturas de 0,1 m, 0,4 m, 1,0 m e 1,5 m do solo, no cultivo na primavera de 2004. Os valores de  $TTd$  ( $^{\circ}C$ ), foram calculados pela diferença entre a  $T_{ar}$  e a  $T_d$  no mesmo nível. A utilização dos valores de  $TTd$  e de  $Dpv$  na estimativa da  $DPM$  foi feita a partir dos valores médios de  $TTd$  e de  $Dpv$  determinados no momento do início do molhamento e no término da secagem das folhas. Dessa forma, os valores limites definidos para o início do molhamento foram menores do que os valores utilizados para identificar o término da secagem. A partir dos valores médios foram selecionados os limites dos valores de  $TTd$  e de  $Dpv$  representativos do momento do início do molhamento e do término da secagem das folhas, para as quatro alturas de instalação dos pares psicrométricos. Foi considerado o início do molhamento foliar quando os valores da  $TTd$  e do  $Dpv$  foram menores do que os limites estipulados pelos valores médios. O término da secagem foi considerado a partir da ocorrência de valores de  $TTd$  e de  $Dpv$  superiores ao limite médio para a secagem.

### **3.3.4 Utilização do modelo CART**

O modelo CART foi desenvolvido por Gleason et al. (1994) e utiliza os valores de  $T_{ar}$  ( $^{\circ}C$ ), de  $TTd$  ( $^{\circ}C$ ) e de  $UR$  a 1,5 m de altura e a velocidade do vento a 10 m de altura ( $U_{10}$ ,  $m\ s^{-1}$ ) na estimativa da  $DPM$ . Embora a geração do modelo CART tenha sido realizada por um procedimento de classificação e de modelização não paramétrico relativamente complexo, sua utilização é simplesmente baseada nas inequações a seguir:

$$\left(1,6064T_{ar}^{0,5} + 0,0036T_{ar}^2 + 0,1531UR - 0,4599U_{10}TTd - 0,0035T_{ar}UR\right) > 14,46 \quad (06)$$

ou

$$\left(0,7921T_{ar}^{0,5} + 0,0046UR - 2,3889U_{10} - 0,039T_{ar}U_{10} + 1,0613U_{10}TTd\right) > 37,00 \quad (07)$$

O modelo CART foi utilizado para prever a ocorrência de molhamento nas superfícies, a partir de valores de  $TTd < 3,7^\circ \text{C}$  e de  $U_{10} < 2,5 \text{ m s}^{-1}$ , quando o valor calculado for equivalente à condição exigida pela equação 06. Para a equação 07 foi previsto molhamento quando, a partir de valores de  $U_{10} \geq 2,5 \text{ m s}^{-1}$  e de  $UR \geq 87,8\%$ , foi satisfeita a condição exigida pela equação 07. Já para os momentos do dia em que as condições de ambiente foram de valores de  $TTd \geq 3,7^\circ \text{C}$  ou de  $UR < 87,8\%$  o modelo considerou a inexistência de molhamento. Nesse trabalho, também foi adotada a substituição dos valores de  $U_{10}$  pela velocidade do vento estimada para o topo do dossel de plantas de batata ( $U_{\text{topo}}$ ), segundo a recomendação de Kim et al. (2002).

Após o cálculo e a identificação dos momentos em que ocorreu o molhamento foliar, segundo os resultados do modelo CART e a modificação por Kim et al. (2002), foi contabilizada a *DPM* pelo número de horas, nas quais o modelo acusou molhamento, para o intervalo de tempo entre as 12h10min do dia “n” até às 12h do dia “n+1”.

### 3.3.5 Utilização de modelos baseados no balanço de energia

Foram utilizados dois modelos para a estimativa do molhamento a partir do balanço de energia. As características desses modelos permitem utilizá-los para períodos em que não ocorre precipitação, ou mesmo a formação de nevoeiro, no local em que são realizadas as determinações das variáveis meteorológicas. Para esse trabalho foram testados os modelos de balanço de energia a partir da equação de Penman, conforme Kim et al. (2002), e do balanço de energia para folhas individuais (BEF) conforme Heldwein (1993), para a estimativa do molhamento das superfícies das folhas do topo do dossel de plantas das culturas do girassol e da batata em Berlim.

Os valores de fluxo de calor latente ( $LE$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ), calculados pelos modelos de Penman e do BEF, caracterizaram os momentos em que, pelo valor negativo do fluxo de energia, ocorreu evaporação da água das superfícies e, pelos valores positivos do fluxo de energia, ocorreu condensação do vapor d’água, do ar do ambiente, sobre as folhas. Assim, partiu-se do princípio de que o acúmulo dos valores positivos, somados a cada 10 minutos,

durante o período em que ocorreu a formação de orvalho representa, indiretamente, o montante de água equivalente em  $W m^{-2}$ . A partir do momento em que ocorreu a inversão do sentido do fluxo de energia, o contínuo acúmulo dos valores de  $LE$  diminuiu o montante positivo acumulado. No momento em que ocorreu o valor zero para  $LE$ , assumiu-se que as superfícies foliares apresentavam-se secas novamente e toda água livre havia sido evaporada. Nesse contexto, a  $DPM$  abrangeu o tempo que se verificaram valores positivos acumulados no somatório contínuo do  $LE$  calculado pelos modelos de Penman e do BEF.

O modelo que tem por base o balanço de energia do dossel segundo a equação de Penman, está apresentado na equação 08.

$$LE = - \frac{\rho c_p Dpv_{0,1} + \Delta(Rn - G)}{\Delta + \gamma} \quad (08)$$

em que:  $LE$  é o fluxo de calor latente ( $W m^{-2}$ ),  $\rho$  é a densidade do ar ( $1,204 kg m^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar a pressão constante ( $1004,64 J kg^{-1} K^{-1}$ ),  $Dpv_{0,1}$  é o déficit de pressão de vapor do ar (kPa) a 0,10 m do solo,  $\Delta$  é o valor da tangente a curva de saturação ( $kPa K^{-1}$ ),  $Rn$  é o saldo de radiação ( $W m^{-2}$ ),  $G$  é o fluxo de energia do solo ( $W m^{-2}$ ),  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $0,066 kPa K^{-1}$ ) e  $ra$  é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor e de vapor de água ( $s m^{-1}$ ).

Os valores do fluxo de energia do solo ( $G$ ) foram desconsiderados, pois não foram realizadas medições dessa variável durante a execução dos experimentos. Além disso, seus valores são muito pequenos e provavelmente representam uma contribuição desprezível no balanço de energia da parte aérea das plantas para o local do experimento.

Os valores da tangente a curva de saturação ( $\Delta$ ) foram calculados pela equação:

$$\Delta = \frac{4098 es_{0,1}}{(T_{0,1} + 237,3)^2} \quad (09)$$

em que:  $T_{0,1}$  e  $es_{0,1}$  são a temperatura e a pressão de saturação de vapor d'água do ar, a 0,10 m de altura do solo, respectivamente.

Os valores da resistência aerodinâmica ( $ra$ ) foram calculados pela equação:

$$ra = \frac{\ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right)^2}{k^2 Uz} \quad (10)$$

em que:  $z$  é a altura do dossel de plantas (m),  $d$  é o deslocamento do plano zero ( $0,64 z$ , m),  $z_0$  é o comprimento da rugosidade para o transporte de momentum ( $0,123 z$ , m),  $k$  é a constante de von Karman ( $0,41$ ) e  $Uz$  é a velocidade do vento na altura do dossel da cultura ( $m s^{-1}$ ).

A utilização da equação 10, no cálculo do valor da resistência aerodinâmica, é considerada adequada para a condição de estabilidade do ar e por essa razão pode não ter sido mais apropriada para muitos momentos dos experimentos.

A descrição seguinte refere-se ao modelo do balanço de energia de folhas individuais (BEF). O princípio da utilização do modelo do BEF, cujo algoritmo foi escrito em linguagem SAS (Statistical Analytical System) por Heldwein (1993), baseia-se no cálculo do balanço da energia que ocorre em nível de câmara estomática da folha. A equação utilizada para o cálculo do  $LE$  segundo Heldwein (1993), para os dois lados das folhas das plantas, foi:

$$LE = -\frac{1,244 Kw (es_{TF} - e_{0,1})}{P} \quad (11)$$

em que:  $Kw$  é o coeficiente de convecção para transporte de calor latente ( $W m^{-2}$ ),  $es_{TF}$  é o valor estimado da pressão de saturação de vapor do ar na cavidade estomática e na superfície das folhas de batata (hPa),  $e_{0,1}$  é o valor da pressão parcial de vapor do ar a 0,10 m do solo no dossel de plantas (hPa) e  $P$  é a pressão atmosférica, considerada constante de 1006 hPa.

O valor de  $Kw$  foi calculado pela equação 12.

$$Kw = \frac{1,08 L Kc}{c_p} \quad (12)$$

em que:  $L$  é o calor latente ( $J kg^{-1}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar quando úmido ( $J kg^{-1} °C^{-1}$ ) e  $Kc$  é o coeficiente de convecção para calor sensível ( $W m^{-2} °C^{-1}$ ).

Os valores de  $L$  e de  $c_p$  foram obtidos pelas equações seguintes, respectivamente (HELDWEIN, 1993):

$$L = (2501 - (2,38 T_{0,1}))10^3 \quad (13)$$

$$c_p = 1005 \left( 1 + 0,84 \left( \frac{0,622 e_{0,1}}{P - 0,378 e_{0,1}} \right) \right) \quad (14)$$

O valor de  $Kc$ , foi calculado pela equação 15 ou 16, sendo o valor do número de Reynolds condicionante para a utilização de uma ou outra equação. Quando o valor calculado do número de Reynolds foi maior ou igual a  $10^4$ , o  $Kc$  foi calculado pela equação 15. No entanto, quando o valor do número de Reynolds foi menor do que  $10^4$ , o  $Kc$  foi calculado pela equação 16.

$$Kc = 40,205 \left( \frac{UB}{DB} \right)^{0,5} \quad (15)$$

$$Kc = 15,02 \left( \frac{UB^{0,8}}{DB_{Re}^{0,2}} \right) \quad (16)$$

em que:  $DB$  e  $DB_{Re}$  são as dimensões características da superfície das folhas na direção do fluxo do ar definidas por Heldwein (1993), sendo  $DB$  de 0,7447 m para a convecção livre e  $DB_{Re}$  de 0,765 m para convecção forçada;  $UB$  é a velocidade do vento junto à superfície das folhas das plantas, calculada pela equação 17.

$$UB = \frac{Uh}{\left(1 + 2\left(\frac{1 - 0,7h}{h}\right)\right)^2} \quad (17)$$

em que:  $Uh$  é a velocidade do vento na altura do dossel ( $\text{m s}^{-1}$ ), calculada a partir de dados de vento a 10 m de altura ( $U_{10}$ ) e  $h$  é a altura do dossel de plantas (m). Nos momentos em que foram observados valores muito baixos e próximos de zero de  $UB$ , foram considerados valores de  $0,08 \text{ m s}^{-1}$ .

O número de Reynolds foi calculado por:

$$Re = UB \cdot 0,01 \frac{DB}{\nu} \quad (18)$$

em que:  $\nu$  é a viscosidade cinemática do ar quando seco ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) dada por:

$$\nu = \left(0,13284 + \left(0,000895238 T_{0,1}\right)\right) 10^{-4} \quad (19)$$

O valor de  $es_{TF}$  foi calculado pela equação 20.

$$es_{TF} = 6,1078 \exp\left(\frac{17,2693882 TF}{TF + 237,3}\right) - 0,0077 \quad (20)$$

em que:  $TF$  é o valor estimado da temperatura da superfície das folhas de batata e do ar no interior da cavidade estomática.

O valor de  $TF$  foi estimado por cálculo iterativo através da equação do balanço de energia rearranjada e com a linearização dos componentes não lineares (HELDWEIN, 1993), de forma que:

$$TF = T_{0,1} + \frac{\left(\frac{Rn - 2K_w 0,622 (es_{T_m} - e_{0,1})}{P}\right)}{4 \varepsilon \sigma (T_m + 273,16)^3 + 2K_c + 2K_w 0,622 \frac{\Delta_{T_m}}{P}} \quad (21)$$

em que:  $Rn$  é o saldo de radiação ( $\text{Wm}^{-2}$ );  $\varepsilon$  é a emissividade (absortividade) da folha de batata para radiação de onda longa (0,96);  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8}$ ,  $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ );  $es_{T_m}$  é a pressão de saturação de vapor do ar e  $\Delta_{T_m}$  é o valor da tangente a curva de saturação ( $\text{hPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) calculados para valores médios ( $T_m$ ) entre o valor de temperatura da folha ( $TF$ ) e do ar ( $T_{0,1}$ ):

$$T_m = \frac{TF + T_{0,1}}{2} \quad (22)$$

O cálculo do valor de  $T_m$ , para cada dez minutos, foi realizado considerando-se como primeiro valor:  $TF = T_{0,1} - 0,1$  (23)

e os demais valores de  $TF$  foram estimados, sucessivamente pela equação 21, até que o valor de  $TF$  estimado pelo cálculo iterativo não se alterasse mais do que  $0,02^\circ\text{C}$ , ou seja, até que se obtivesse uma diferença menor do que  $0,02^\circ\text{C}$  entre o valor de  $TF$  e o seu valor subsequente calculado.

Para isso, em cada ciclo do cálculo iterativo, além dos valores de  $T_m$ , também os valores de  $\Delta T_m$  e de  $es_{T_m}$  foram recalculados pelas equações 24 e 25.

$$\Delta T_m = \frac{0,622 L es_{T_m}}{287,04 (T_m + 273,16)^2} \quad (24)$$

$$es_{T_m} = 6,1078 \exp\left(\frac{17,2693882 T_m}{T_m + 237,3}\right) \quad (25)$$

A partir da determinação do valor da  $TF$ , seu valor foi utilizado para o cálculo do valor de  $es_{TF}$  (equação 20), sendo esse valor posteriormente utilizado para a solução do BEF (equação 11) e a obtenção dos valores do fluxo de calor latente ( $LE$ ).

### 3.4 Determinações fenológicas e fenométricas

Foram realizadas determinações fenológicas com o intuito de caracterizar o desenvolvimento da cultura. Para isso, realizaram-se observações da emergência das plantas, do início da tuberação e do início do amarelecimento das folhas. A data considerada para cada estágio de desenvolvimento foi a data média da sua ocorrência em 50 % das plantas observadas. Semanalmente foram realizadas determinações fenométricas de índice de área foliar ( $IAF$ ) e altura das plantas. Os valores diários destas determinações foram obtidos por interpolação a partir do ajuste de equações em função do número de dias após a emergência das plantas. O cálculo da área foliar das plantas foi realizado pela soma da área das folhas individuais da planta. A área das folhas ( $AF$ ) foi estimada com a equação apresentada a seguir (Anexo I):

$$AF = 0,535(CL)^{0,9592} \quad (26)$$

em que:  $C$  e  $L$  são o comprimento e a largura das folhas de batata, respectivamente.



### 3.5 Avaliação dos modelos para estimativa da duração do período de molhamento

A avaliação do desempenho dos modelos para a estimativa dos valores de *DPM*, foi realizada a partir dos valores das estatísticas apresentadas a seguir:

Diferença média normalizada ou coeficiente de massa residual (*DMN*)

$$DMN = (\bar{O} - \bar{E}) \div \bar{O} \quad (27)$$

em que:  $\bar{O}$  e  $\bar{E}$  são a média aritmética dos valores de *DPM* observados ( $O_t$ ) e estimados ( $E_t$ ). Foi utilizado o índice “*t*” para representar cada valor observado ou estimado, e o índice “*T*” para representar o número de determinações observadas ou estimadas.

Este parâmetro adimensional permite a obtenção da tendência do comportamento dos valores de *DPM* estimados versus os observados. O ideal é que os valores de *DMN* sejam próximos de zero.

Raiz quadrada do quadrado médio do erro (*RMSE*) e as suas porções de erro sistemático (*s*) e de erro não sistemático (*ns*).

$$RMSE = \left( \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (O_t - E_t)^2 \right)^{0,5} \quad (28)$$

em que: *T* é o número de determinações dos valores de *DPM*,  $O_t$  e  $E_t$  são os valores da determinação visual e estimada, respectivamente.

$$s = \left( \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (O_t - \hat{E}_t)^2 \right)^{0,5} \quad (29)$$

$$ns = \left( \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{E}_t - E_t)^2 \right)^{0,5} \quad (30)$$

em que:  $\hat{E}_t = a + bO_t$  (31)

sendo *a* e *b* os coeficientes linear e angular da equação da reta de regressão linear obtidos por:

$$a = \bar{E} - b\bar{O} \quad (32)$$

$$b = \left[ \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})(E_t - \bar{E}) \right] \div \left[ \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})^2 \right] \quad (33)$$

O cálculo de verificação consta de:  $RMSE^2 = s^2 + ns^2$  (34)

Segundo Willmott (1982), num modelo bom, a porção não sistemática do erro deve ser muito maior do que a sistemática. Quanto maior o erro sistemático tanto mais pobre o modelo.

Coeficiente de correlação

$$r = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})(E_t - \bar{E}) / (\sigma_o \sigma_E) \quad (35)$$

em que:

$$\sigma_o = \left( \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (O_t - \bar{O})^2 \right)^{0,5} \quad (36)$$

$$\sigma_E = \left( \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (E_t - \bar{E})^2 \right)^{0,5} \quad (37)$$

sendo  $\sigma_o$  e  $\sigma_E$  os desvios padrões dos valores observados e estimados, respectivamente.

O coeficiente de correlação ou índice de precisão, representado pela letra  $r$ , foi utilizado como indicativo do grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média.

Coeficiente de exatidão ou de concordância

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{t=1}^T (E_t - O_t)^2}{\sum_{t=1}^T (|E_t - \bar{O}| + |O_t - \bar{O}|)^2} \right] \quad (38)$$

Também denominado de índice de Willmott (1985) foi utilizado para quantificar matematicamente o afastamento dos valores de *DPM* estimados em relação aos observados. O coeficiente de exatidão é representado pela letra  $d$  e seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a um para concordância perfeita entre as observações e a estimativa.

Coeficiente de confiança

$$c = r d \quad (39)$$

O coeficiente de confiança  $c$  reúne os valores das estatísticas  $r$  e  $d$ . Para sua interpretação foram utilizados os critérios propostos por Camargo & Sentelhas (1997), os quais são apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3** Intervalos de valores do coeficiente de confiança  $c$  utilizados para a interpretação do desempenho dos modelos de estimativa da duração do período de molhamento foliar (*DPM*), em cultivos de batata, em Santa Maria-RS.

Desempenho do modelo	Péssimo	Mau	Sofrível	Mediano	Bom	Muito bom	Ótimo
Valores do coeficiente $c$	$\leq 0,40$	0,41 a 0,50	0,51 a 0,60	0,61 a 0,65	0,66 a 0,75	0,76 a 0,85	$> 0,85$

Fonte: Camargo & Sentelhas (1997), Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, n.2, p.89-97.

A diferenciação, entre os desempenhos dos modelos de estimativa, foi realizada a partir dos valores das estatísticas utilizadas na avaliação dos modelos e descritas anteriormente. Além disso, ainda foi realizada uma avaliação conjunta das estatísticas a partir do somatório dos valores de suas posições ordinais ( $\Sigma$  PO), sendo em parte baseada no método de Thiersch (1997), citado e utilizado por Schneider & Tonini (2003). “Nesse método, quantificam-se o número de vezes em que cada modelo assumiu a primeira colocação com o melhor valor de cada estatística. A primeira colocação recebe o peso zero, a segunda recebe peso 1 e as demais recebem pesos na seqüência 2, 3, 4, ..., n. Multiplicando-se o número de vezes quantificado para cada colocação pelo seu respectivo peso, obtém-se o valor ponderado” (SCHNEIDER & TONINI, 2003: p.125).

Na avaliação conjunta realizada no presente trabalho não foram adotados pesos e valores ponderados. Nessa nova proposta, os modelos foram classificados com posições ordinais crescentes, partindo-se do valor 1, do melhor para o pior desempenho em cada estatística, obtendo-se o  $\Sigma$  PO das estatísticas. Para isso, os modelos e as estatísticas foram dispostos em tabelas, sendo colocado na primeira coluna a identificação do modelo e nas colunas subseqüentes os valores das suas estatísticas. A estatística *DMN* recebeu a posição ordinal 1 para o seu valor mais próximo de zero. A posição ordinal 2 foi atribuída para o segundo valor de *DMN* mais próximo de zero e assim foi procedido até serem classificados todos os modelos quanto a essa estatística. Em seguida foi tomada a coluna dos valores de *RMSE*, realizando-se a sua classificação pela atribuição de posições ordinais crescentes do menor para o maior valor de *RMSE*. De forma similar foram classificados os valores das colunas das estatísticas do erro sistemático (*s*) e não sistemático (*ns*), no entanto, pela sua utilização indireta a partir do valor da relação  $s \div ns$ . Os valores da coluna do coeficiente linear (*a*) foram ordenados sendo atribuída a posição ordinal 1 para o seu valor absoluto mais próximo de zero, a posição ordinal 2 para o segundo valor mais próximo de zero e assim subseqüentemente. Os valores das colunas do coeficiente angular (*b*) e dos coeficientes de correlação (*r*), de exatidão (*d*) e de confiança (*c*) foram classificados considerando-se que os seus melhores valores devem ser iguais ou próximos da unidade 1. Após a classificação dos modelos nas colunas, de acordo com a atribuição das posições ordinais crescentes para as estatísticas *DMN*, *RMSE*,  $s \div ns$ , *a*, *b*, *r*, *d* e *c*, realizou-se a soma dos valores das posições ordinais nas linhas. Assim, foi obtida uma última coluna nas tabelas, sendo esta composta pelo somatório dos valores das posições ordinais ( $\Sigma$  PO) das estatísticas de avaliação. O modelo de estimativa que apresentou o menor  $\Sigma$  PO das estatísticas de avaliação foi considerado o melhor, dentre aqueles avaliados na respectiva tabela.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

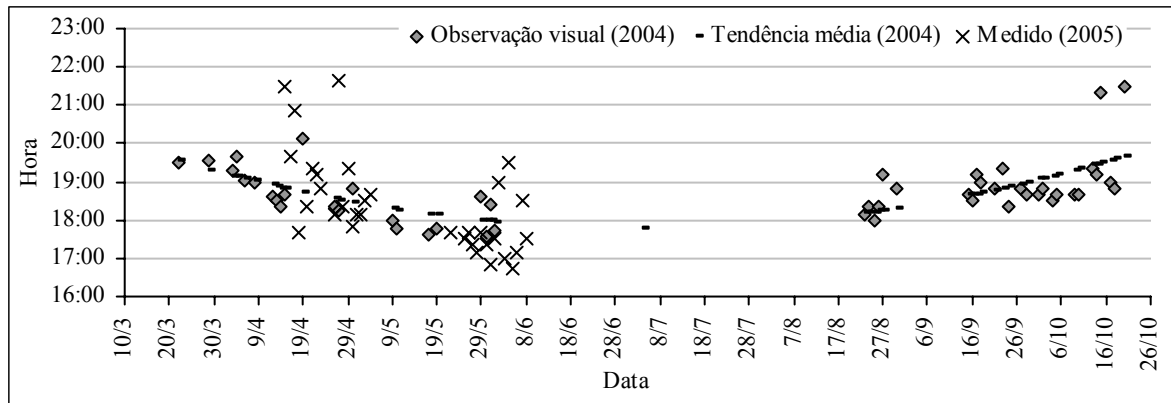
### 4.1 Determinação do molhamento e da secagem das folhas de batata por observação visual e por sensores de molhamento foliar

A determinação da duração do período de molhamento foliar (*DPM*) por orvalho, tanto por medição quanto por estimativa, ocorre entre o início da calmaria do ar e da perda líquida gradativa de energia radiativa, geralmente no crepúsculo vespertino ou início da noite, e os momentos de retomada da agitação do ar e de aumento na intensidade de energia radiativa que incide desde a atmosfera pela manhã, a partir do crepúsculo matutino. Devido às mudanças rápidas das condições do ambiente no início das noites e nas manhãs, são nesses momentos que podem ocorrer os principais erros na estimativa da *DPM*, devido à resposta falha dos modelos de estimativa (WU et al., 2001). Assim, a seguir são apresentados os resultados obtidos no início das noites e nas manhãs, da observação visual do molhamento e da secagem das folhas da batata, determinados através da escala sugerida por Heldwein & Krzysch (1997) para a verificação da ocorrência de orvalho sobre as plantas. Ainda são apresentadas as condições de ambiente, principalmente quanto ao *Rn* e a velocidade do vento, no início da noite e na manhã, nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004. No cultivo de batata realizado no outono de 2005 são apresentados os dados do molhamento e da secagem foliar, os quais foram obtidos através da utilização de sensores.

O momento ou horário de início do molhamento foliar por orvalho, determinado por observação visual nos cultivos realizados no outono e na primavera de 2004 e determinada através da utilização de sensores de molhamento foliar no outono de 2005, é apresentado na Figura 1. No crepúsculo ou no início da noite, observou-se que o início da formação de orvalho apresentou a tendência de ocorrer tanto mais cedo quanto mais próximo do solstício de inverno. A função quadrática da tendência média do início do molhamento, traçada entre os cultivos no outono e na primavera de 2004, permitiu extrapolar que o ponto de mínima ocorreria no dia 04 de julho. Essa data é próxima aos dias em que geralmente se verifica o resfriamento máximo da atmosfera no hemisfério sul. Esses resultados servem de indicativo da interferência das condições atmosféricas globais sobre o início da formação de orvalho no decorrer dos dias do ano.

Os resultados verificados para o início do molhamento foliar, pela utilização dos sensores de molhamento no cultivo no outono de 2005, seguiram a tendência dos dados

obtidos por observação visual para o outono de 2004. Esses resultados confirmam os dados apresentados no Anexo II, no qual se trata da representatividade dos dados de molhamento foliar medidos por sensores eletrônicos em relação aos dados coletados nas observações visuais no cultivo de batata de outono em 2005 (Maass et al., 2005; Trentin, 2006).

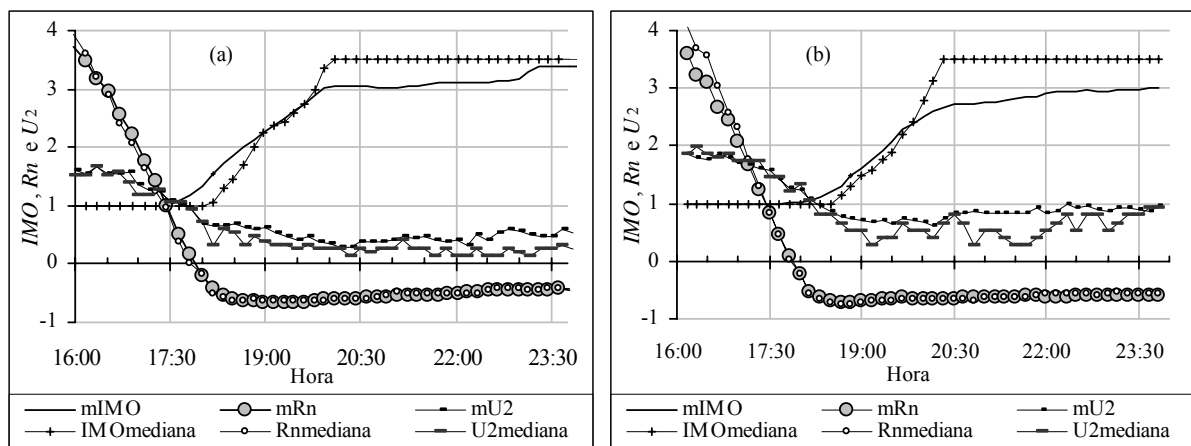


**Figura 1** Hora do início do molhamento foliar por orvalho determinada por observação visual e a sua tendência média em 2004 e determinada pela utilização de sensores de molhamento, em cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

Nos cultivos de 2004, as observações visuais permitiram que se obtivesse, além da determinação do momento em que ocorreu o início do molhamento foliar, ainda a evolução do processo de molhamento das folhas no tempo, segundo os índices da escala de molhamento proposta por Heldwein & Krzysch (1997). No cultivo de outono em 2004, ao serem associadas às observações do índice de molhamento por orvalho (*IMO*), conforme Heldwein & Krzysch (1997), aos valores de saldo de radiação (*Rn*) médios ou medianos, observou-se que o início do molhamento ocorreu a partir do momento em que o *Rn* tornou-se negativo, mesmo se ainda ocorresse a incidência de uma pequena fração da densidade de fluxo de energia solar (Figura 2a e 2b). Sendo o valor de *Rn* resultante das condições de energia disponível no ambiente, pode-se afirmar que os resultados obtidos ratificaram a lógica física de que a formação de orvalho sobre as superfícies foliares, somente ocorre a partir de valores negativos de *Rn*, como foi observado principalmente no cultivo no outono de 2004 (Figura 2a). O potencial de formação de orvalho, a partir da observação dos primeiros valores negativos de *Rn*, passa a ser alto devido à perda de energia que se observa após o início do crepúsculo. No entanto, isso foi verificado apenas para o cultivo de outono, no qual o valor médio de *IMO* de 1,5, considerado como limite, ocorreu muito próximo do valor zero de *Rn*. Para o cultivo de primavera, em média o início da formação de orvalho somente ocorreu em

torno das 19 horas, ou seja, cerca de uma hora após o registro do primeiro valor negativo de  $Rn$  (Figura 2b).

Segundo Jacobs et al. (2004), as condições ambientais mais favoráveis para a formação de orvalho são de grande perda de energia radiativa, baixa velocidade do vento e céu límpido. Ao prevalecerem essas condições durante o período noturno, principalmente as superfícies que se encontram no topo da arquitetura das plantas e, ainda, aquelas partes expostas à perda de energia, apresentam os primeiros indícios de molhamento (JACOBS et al., 2004).



**Figura 2** Média (mIMO) e mediana (IMOMediana) do índice de molhamento das folhas por orvalho, média (mRn) e mediana (Rnmediana) do saldo de radiação ( $\text{cal cm}^{-2} 10 \text{ min}^{-1}$ ), média (mU<sub>2</sub>) e mediana (U<sub>2</sub>mediana) da velocidade do vento a dois metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ), calculados para cada dez minutos entre as 16 h e as 24 h, para 20 e 25 noites nos períodos de 29/03 a 01/06/04 (a) e de 23/08 a 20/10/04 (b), respectivamente, em cultivos de batata, em Santa Maria-RS.

Entretanto, para alguns períodos noturnos, as condições ambientais que prevaleceram nas primeiras horas da noite foram de velocidade do vento moderada a alta a dois metros de altura do solo ( $U_2$ ), o que provavelmente proporcionou a compensação da energia perdida por radiação por energia transportada pelo ar, na forma de calor sensível em nível das folhas, a ponto de evitar que estas se resfriassem abaixo da temperatura do ponto de orvalho do ar. Verificou-se, dessa forma, que os valores médios de  $U_2$  interferiram de forma significativa no potencial oferecido pelo  $Rn$  para a formação de orvalho nos cultivos pois, somente ocorreu formação de orvalho a partir de valores médios de  $U_2$  inferiores a  $1,0 \text{ m s}^{-1}$ . Esse fato foi observado independentemente do valor médio de  $Rn$ . Dessa forma, o primeiro valor médio do  $IMO$  igual a 1,5 ocorreu cerca de 30 minutos após a  $U_2$  alcançar o valor médio  $\leq 1,0 \text{ m s}^{-1}$ ,

tanto no cultivo de outono quanto no cultivo de primavera de 2004. Pode-se inferir que a formação de orvalho na superfície das folhas, além de ter sido condicionada pela perda de energia por radiação, ainda foi condicionada a maior ou menor transferência de energia pela ação dos ventos. Para os períodos com maior velocidade de vento, as condições do ar ambiente acima da cultura (0,40 m) geralmente foram de maior homogeneidade entre as camadas de ar a 0,40 m, 1,00 m e 1,50 m nos cultivos no outono e na primavera de 2004, pois o vento causou a mistura das propriedades de cada camada de ar (TAZZO, 2005). No entanto, nesses casos, observou-se a formação de orvalho nas folhas laterais expostas a perda radiativa e que estavam mais abrigadas do vento, logo abaixo do limite superior do dossel.

Com a ocorrência de vento, foi observado que o tempo para ocorrerem os diferentes níveis da escala de molhamento foi mais prolongado. Isso ocorreu devido à possibilidade do processo de transferência de calor latente sofrer alternância entre uma condição predominante de condensação e momentos com uma condição de gradiente de pressão parcial de vapor nulo (neutralidade) ou mesmo de evaporação (GEIGER, 1990). Esse fato ocorreu com maior frequência no cultivo na primavera de 2004.

Os resultados mostrados na Figura 2 podem ser tomados como exemplo da interferência dos valores médios de  $U_2$  no processo de formação de orvalho. No outono de 2004, o início do molhamento ocorreu em média às 18h10min, com o valor médio de *IMO* de 1,53 e às 20h foi verificado o primeiro valor médio de *IMO* de 3,0 (Figura 2a). Esse período totalizou 1h50min. Entretanto, de acordo com os valores da mediana esse período foi de 1h15min, entre as 18h30min e às 19h45min. Na primavera de 2004, o molhamento foliar teve início em média às 18h50min, com o valor de *IMO* de 1,47. As 20h foi alcançado o valor médio de *IMO* de 2,5, observando-se um progresso lento no molhamento foliar, que se prolongou além das 23h30min. Nesse momento, o valor médio de *IMO* foi igual a 2,99. Contudo, se observarmos os valores da mediana, o molhamento total ocorreu entre as 19h e às 20h10min (Figura 2b). Dessa forma, a partir dos valores das medianas, verificou-se que, em pelo menos na metade das ocasiões, o período de tempo entre o início da formação de orvalho e o momento em que as superfícies foliares alcançaram pleno molhamento, ocorreu num espaço de tempo máximo de 1h15min, tanto no outono quanto na primavera de 2004. Isso evidencia a existência de similaridade na velocidade da formação de orvalho nas diferentes épocas do ano, quando as condições ambientais foram favoráveis. Entretanto, foi verificada uma diferença maior entre a mediana e a média do cultivo de primavera em relação ao cultivo de outono. Essa diferença foi maior no cultivo de primavera devido ao fato de que houve maior número de dias com velocidade de vento mais alta, menos favorável ao rápido processo

de formação de orvalho. Se observados os valores médios e medianos da  $U_2$ , pode-se verificar que estes foram mais elevados e com maior variação na primavera do que no outono. Dessa forma, constatou-se que os valores maiores de  $U_2$  na primavera foram determinantes para que, em alguns períodos, prevalecesse o processo de evaporação em condições de ambiente com valores de  $Rn$  bastante negativos. Já no cultivo de outono, a predominância de valores de  $U_2 \leq 1,0 \text{ m s}^{-1}$ , praticamente não foi obstáculo ao início e a formação continuada de orvalho.

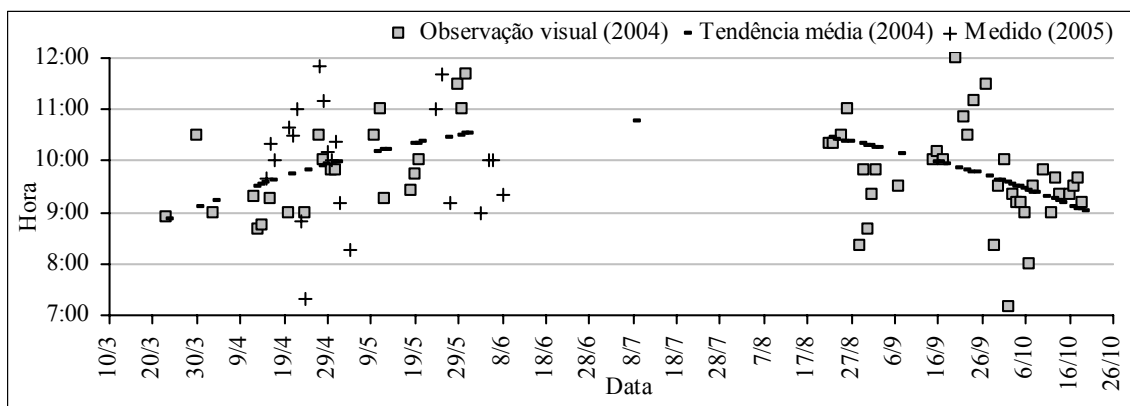
Com o passar da noite, ocorreu um aumento do volume de água condensada, até abranger toda área das folhas do cultivo. A partir da saturação da superfície foliar, no decorrer do período da noite, de acordo com Wilson et al. (1999), o volume de água ultrapassa a capacidade que as folhas das plantas de batata suportam, em torno de  $0,15 \text{ mm}$  ( $15 \text{ mg cm}^{-2}$ ). Assim, o volume de água excedente pode ser drenado das folhas do topo para o solo ou para as folhas inferiores menos molhadas do interior do dossel vegetativo. Esse fato torna-se relevante, pois promove a distribuição da água na parte aérea das plantas (JACOBS et al., 1994; JACOBS et al., 1995), para um nível onde a secagem é mais lenta pela manhã.

O momento em que ocorreu o término da secagem das folhas da cultura, determinado por observação visual nos cultivos no outono e na primavera de 2004 e determinado pela utilização de sensores de molhamento no outono de 2005, está apresentado na Figura 3. Verificou-se que o ponto de máxima, isto é, o horário mais tardio do término da secagem das folhas, obtido pela tendência média, calculada com base nas observações visuais no ano de 2004, ocorreria na data de oito de julho. Esse resultado foi concordante com o resultado obtido para o momento do início do molhamento das folhas, observado visualmente para os cultivos do ano de 2004.

Observou-se uma maior dispersão dos horários do término da secagem, se comparado com a dispersão dos pontos da hora do início do molhamento foliar (Figura 3). Isso provavelmente deveu-se ao fato de que para o período da manhã, ao contrário do início da noite, ocorreram condições diversas de  $U_2$  e de  $Rn$ , variando de acordo com as condições atmosféricas. Além disso, freqüentemente ocorrem nevoeiros e tempo parcialmente nublado ou de névoa úmida pela manhã. Essa condição, por vezes, prevaleceu por grande parte da manhã, até próximo do meio dia. Assim, mesmo com a ocorrência de valores de  $U_2$  acima de  $1,0 \text{ m s}^{-1}$ , o processo de evaporação da água sobre as folhas tornou-se muito mais lento que em manhãs de céu límpido. Em alguns casos, em contrapartida à lenta evaporação, ocorreu a deposição de água resultante do nevoeiro, embora em quantidade pouco expressiva, mas que, em alguns casos, foi suficiente para ser passível de medida pelo pluviômetro da estação automática instalada nos cultivos.



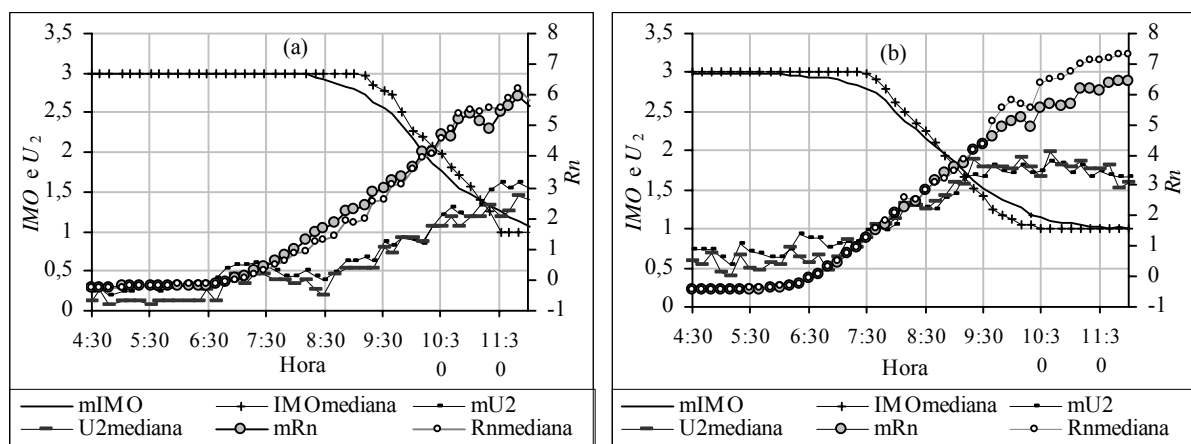
Os resultados obtidos a partir das determinações realizadas pelos sensores de molhamento utilizados no cultivo no outono de 2005, apontaram uma maior dispersão para o momento da secagem das folhas, se comparado ao cultivo no outono de 2004. Isso se deveu, provavelmente, ao fato de que as condições de ambiente, verificadas no cultivo no outono de 2005, foram de alta umidade relativa do ar e de freqüentes precipitações. Essa dispersão não pode ser atribuída à utilização de diferentes métodos de determinação do término da secagem das folhas, pois as medidas dos sensores foram próximas das da hora em que ocorreu o término da secagem das folhas obtido por observações visuais (Anexo II).



**Figura 3** Hora do término do molhamento foliar por orvalho, determinada por observação visual e a sua tendência média em cultivos de batata de outono e de primavera de 2004 e hora do registro de molhamento pela utilização de sensores no cultivo no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

A partir do acompanhamento visual, nos cultivos no outono e na primavera de 2004, foi possível a determinação do momento em que ocorreu o término da secagem das folhas, bem como a verificação do período de tempo transcorrido entre o início e o término do processo de secagem das folhas. Os resultados obtidos a partir dos índices da escala proposta por Heldwein & Krzysch (1997) estão apresentados na Figura 4. A partir da proximidade entre a média e a mediana, pode-se verificar que os valores médios de *IMO* são representativos do processo de secagem nas manhãs em que foram realizadas observações visuais. Ao contrário dos dados do momento do início do molhamento foliar, que apresentaram valores de média diferentes da mediana, os valores de término da secagem distribuíram-se em torno da média. Assim, a média pode ser representada pelos valores da mediana.

Observou-se que o processo de secagem das superfícies das folhas durou cerca de 3 horas e iniciou-se em torno das 8h30min e das 7h, nos cultivos no outono e na primavera de 2004, respectivamente. No entanto, segundo Wilson et al. (1999), o processo de evaporação da água das superfícies e a diminuição do volume de água que se encontra sobre as folhas inicia-se ainda no final da madrugada ou início da manhã, entre 5h e 6h, momento em que ocorre o acúmulo máximo de água resultante do orvalho sobre as folhas do cultivo. A evaporação e a subsequente secagem ocorrem sob condição de ambiente caracterizada pelo aumento de incidência de energia radiativa. Dessa forma, a maior evaporação da água e a secagem das superfícies iniciou-se nas folhas do topo da cultura e nas folhas que se encontram orientadas na direção da chegada da radiação solar. Assim, constatou-se que a secagem e o molhamento foliar seguem a mesma tendência, ou seja, ambos iniciam-se no topo e nas partes expostas das plantas, progredindo para as superfícies das plantas no interior do dossel (JACOBS et al., 2004).



**Figura 4** Média (mIMO) e mediana (IMOmediana) do índice de molhamento das folhas por orvalho, média (mRn) e mediana (Rnmediana) do saldo de radiação ( $\text{cal cm}^{-2} 10 \text{ min}^{-1}$ ), média ( $mU_2$ ) e mediana ( $U_2\text{mediana}$ ) da velocidade do vento a dois metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ), calculados para cada dez minutos entre as 4h30min e as 12h, nos períodos de 09/04 a 05/06/04 (a) e de 23/08 a 20/10/04 (b), em cultivos de batata, em Santa Maria-RS.

A partir da observação das Figuras 4a e 4b, em torno das 8h30min e das 7h30min, nos cultivos no outono e na primavera de 2004, respectivamente, verificou-se que a secagem passou a ser mais rápida e mais visível. A partir desses momentos, os valores médios de  $Rn$  foram superiores a  $1,556 \text{ cal cm}^{-2} 10 \text{ min}^{-1}$ , que correspondem a cerca de  $100 \text{ W m}^{-2}$ . Esse fato pode ser verificado independente da hora e da condição da  $U_2$  em que esse valor de  $Rn$  ocorreu. Esse resultado evidenciou que o aumento dos valores de  $Rn$  pela manhã foi um dos principais fatores da secagem das superfícies das folhas das plantas de batata. Ainda foi

observado pela comparação entre os valores de  $U_2$  no cultivo no outono e na primavera de 2004, que a ocorrência de baixas velocidades de vento, principalmente no outono de 2004, foram suficientes para a remoção do vapor d'água que se formou no dossel vegetativo, mesmo quando se trata de fluxo laminar do ar (HELDWEIN, 1993; WILSON et al., 1999).

A partir dos resultados apresentados na Figura 1 e na Figura 3, pode ser deduzido que as possibilidades da ocorrência de valores prolongados de duração de períodos de molhamento por orvalho são maiores nas datas próximas ao maior resfriamento do hemisfério sul, ou seja, próximo e após o solstício de inverno. Se fosse contabilizado o número de horas de duração do período de molhamento (*DPM*) entre o dia quatro e o dia oito de julho, a partir da hora civil estimada pelas tendências médias, apresentadas nas Figuras 1 e 3, teríamos cerca de 17 horas de *DPM* por orvalho. Esse valor médio de *DPM* de 17 horas, no entanto, não é representativo do valor máximo de *DPM* possível de ser verificado nos cultivos a campo. Um valor máximo superior a 17 horas de *DPM* pode ocorrer facilmente com a coincidência de condições ambientais que favoreçam o início antecipado do molhamento no início da noite e protelem o término da secagem para além das 11h. Verificou-se, dessa forma, que as condições ambientais, para épocas de cultivo bastante próximas ao início do inverno, são as que têm maior risco climático de ocorrência de epifítias favorecidas pelo molhamento foliar, como a requeima causada por *Phytophthora infestans* (Mont de Bary).

No início da noite podem ocorrer dificuldades na estimativa do início do molhamento por orvalho, principalmente pela oscilação entre os processos de condensação e de evaporação da água sobre as folhas, quando a relação entre o saldo de radiação e a velocidade do vento condiciona momentos de equilíbrio entre condensação e evaporação por tempo mais prolongado. Se essas condições se instalam sobre o ambiente do cultivo de batata no momento em que deveria ocorrer o início do molhamento foliar, a identificação das condições limiares para o molhamento torna-se muito difícil de ser determinada, e pode resultar em erros consideráveis na determinação da *DPM* final.

No período da manhã, normalmente não ocorrem condições limites de oscilação entre períodos de condensação e evaporação de água sobre as folhas, sendo a condição predominante, a de evaporação. No entanto, a evaporação pode ter seu período prolongado pela ocorrência de tempo úmido ou pela presença de nevoeiro e pela menor incidência de energia solar sobre o cultivo devido à ocorrência de nuvens. Dessa forma, por vezes, as velocidades medianas a altas do vento podem induzir a estimativa de uma secagem mais rápida das folhas do que realmente ocorre e assim resultar em erros na estimativa da *DPM*.

## 4.2 Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho em cultivo de batata a partir de valores de umidade relativa do ar

A estimativa da duração do período de molhamento (*DPM*) tem sido realizada, freqüentemente, pela utilização dos valores de umidade relativa do ar (*UR*). O critério mais utilizado e difundido para a utilização da *UR* considera que existe molhamento nas superfícies das folhas a partir de valores de *UR* de 90%, medidos a 1,50 m de altura do solo. Apesar de ser uma metodologia simples, funcional e relativamente segura (KRUIT et al., 2004), a sua utilização deve ser feita considerando que o limite de *UR* atinente a existência de molhamento foliar pode abranger períodos com valores inferiores a 90% (HELDWEIN, 1993; COSTA et al., 2002). Dessa forma, presume-se que a *UR* pode servir como modelo para a estimativa da *DPM*, desde que seja definido o limite de *UR* que melhor se ajusta aos períodos de ocorrência de molhamento foliar nas condições locais (ANDRADE-PIEDRA et al., 2005). Assim, primeiramente são avaliados os resultados da estimativa da duração do período de molhamento foliar por orvalho em cultivos de batata, a partir de relações empíricas com a utilização de valores medidos de umidade relativa do ar.

### 4.2.1 Estimativa da *DPM* através da *UR* medida em uma estação automática

No outono de 2004, a média dos valores de *DPM* por orvalho, determinados por observação visual, foi de 16,25 h por noite, sendo seu desvio padrão de 1,52 h. A média dos valores observados no outono de 2004, foi bastante elevada devido à alta freqüência de condições de ambiente de elevada umidade do ar durante a noite, que geralmente se prolongou durante as manhãs. Os valores de *DPM* observados visualmente foram utilizados para avaliação dos valores obtidos pela estimativa com a *UR* e são apresentados na Figura 5.

Com a comparação da *DPM* estimada com os limites de *UR*, os quais foram medidos em uma estação automática  $\mu$ -Metos, verificou-se que as melhores estimativas, no outono de 2004, foram conseguidas com os limites de  $UR_{\mu M} \geq 70\%$  e  $\geq 80\%$ . Esses dois limites de *UR* apresentaram as melhores estimativas para o período, conforme o conjunto de valores das estatísticas de avaliação (Tabela 1).

Os valores da diferença média normalizada (*DMN*), para os limites de  $UR_{\mu M} \geq 70\%$  e  $\geq 80\%$ , foram próximos a zero e negativos. Isso indica que, em média, ocorreu superestimativa dos valores de *DPM* em relação aos valores observados, o que é

preferível em relação a uma eventual subestimativa quando se trata da segurança fitossanitária da cultura monitorada.

**Tabela 1** Limites de umidade relativa do ar (*UR*) utilizados para a estimativa da duração do período de molhamento foliar (*DPM*) a partir dos valores de *UR* medidos na estação automática  $\mu$ -Metos ( $UR_{\mu M}$ ), em cultivo de batata realizado no outono de 2004, em Santa Maria-RS.

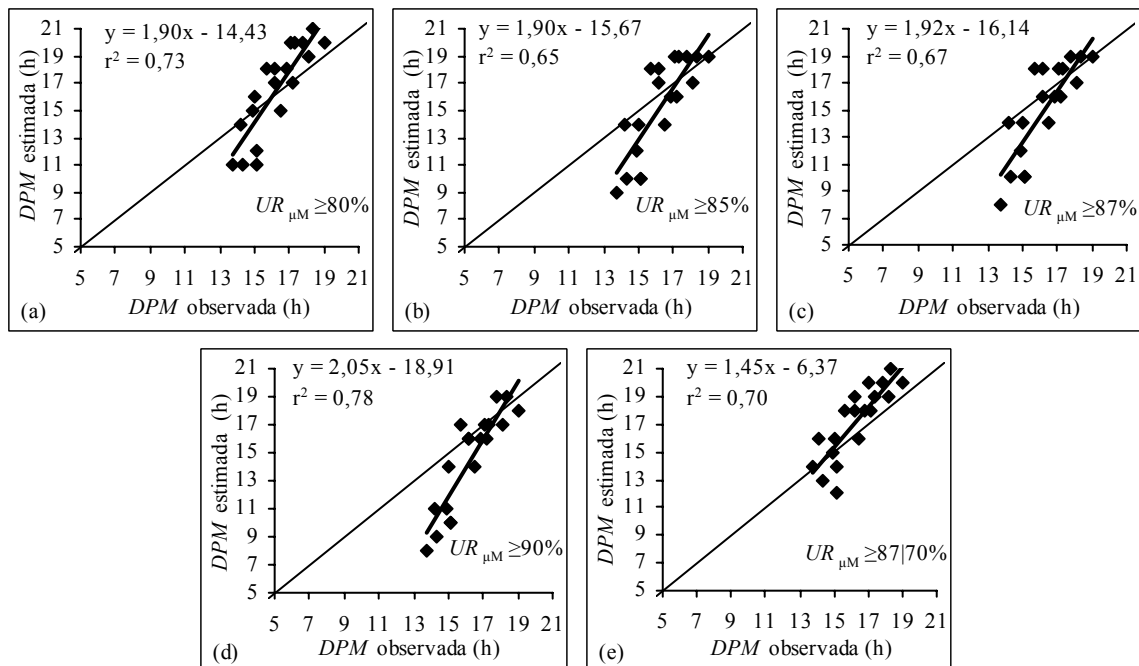
Limites de $UR_{\mu M}$	<i>DPM</i> $\bar{E}$ (h)	<i>RMSE</i>					$E_t = a + bO_t$					
		<i>DMN</i>	(h)	<i>s</i>	<i>ns</i>	$s \div ns$	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	$\Sigma$ PO
$UR_{\mu M} \geq 80\%$	16,47	-0,014	2,17	1,35	1,70	0,80	-14,427	1,902	0,81	0,78	0,63	13
$UR_{\mu M} \geq 85\%$	15,26	0,061	2,63	1,66	2,04	0,81	-15,671	1,904	0,77	0,71	0,55	27
$UR_{\mu M} \geq 87\%$	15,05	0,074	2,68	1,81	1,97	0,92	-16,142	1,920	0,78	0,71	0,55	33
$UR_{\mu M} \geq 90\%$	14,47	0,109	2,86	2,36	1,62	1,46	-18,907	2,054	0,84	0,69	0,58	34
$UR_{\mu M} \geq 87 70\%*$	17,16	-0,056	1,80	1,12	1,41	0,80	-6,369	1,448	0,79	0,80	0,63	13

*DPM*  $\bar{E}$  = média dos valores estimados da duração do período de molhamento por orvalho; *DMN* = diferença média normalizada; *a* e *b* = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_t$ ) e estimados ( $E_t$ ); *RMSE* = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos (*s*) e não sistemáticos (*ns*); *r*, *d* e *c* = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança;  $\Sigma$  PO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos limites de  $UR_{\mu M}$  utilizados nas estimativas. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%.

Outro indicativo do desempenho satisfatório dos limites de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  e  $\geq 80\%$  foi a distribuição dos valores do *RMSE* nos valores de erro sistemático (*s*) e não sistemático (*ns*) (Tabela 1). A partir da relação entre *s* e *ns* ( $s \div ns$ ) pode-se observar o quanto que o erro sistemático representa, em proporção, o erro não sistemático. Assim, verificou-se que o limite de  $UR_{\mu M} \geq 85\%$  também apresentou um desempenho aceitável, que pode ser comparado com os limites de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  e  $\geq 80\%$ . A partir da comparação dos valores da relação  $s \div ns$  observou-se que o limite de  $UR_{\mu M} \geq 90\%$  apresentou o pior desempenho. Esse resultado demonstrou que esse limite pode ser pouco adequado, apresentando tendência sistemática de subestimar os valores de *DPM*, principalmente nos períodos em que a *DPM* apresentou valores menores do que 14,5 h, valor que corresponde a média de seus valores, no cultivo no outono de 2004.

A partir da observação dos coeficientes de correlação (Tabela 1) e de determinação (Figura 5), verifica-se que os valores estimados com o limite de  $UR_{\mu M} \geq 90\%$  apresentaram os melhores valores de precisão dentre os limites. Entretanto, suas estimativas estiveram vinculadas a um erro sistemático alto ( $s = 2,36$ ). Dessa forma, o ajuste dos dados em torno da tendência média pode ser atribuído a estimativas viciadas do limite de  $UR_{\mu M} \geq 90\%$ . Esse efeito de estimativas vinculadas ao erro sistemático também foi verificado nos limites de

$UR_{\mu M} \geq 85\%$  e  $\geq 87\%$ , embora o erro apresente um decréscimo dos limites maiores para os limites menores de  $UR_{\mu M}$ .



**Figura 5** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por observação visual e estimada com os limites de umidade relativa  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%$ \*, num cultivo de batata realizado no outono de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%.

O coeficiente de exatidão  $d$  revelou que as estimativas de *DPM* com os limites  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  e  $\geq 80\%$ , foram as com maior proximidade dos valores de *DPM* observados. No entanto, o valor do coeficiente linear  $a$  da reta de regressão entre valores estimados e observados para o limite de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$  foi bastante alto e próximo dos valores de  $a$  verificados para os limites  $UR_{\mu M} \geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$  e  $\geq 90\%$ . Esse resultado indica que os limites fixos possuem uma tendência similar, com subestimativa para os valores baixos de *DPM*. Esses valores ainda demonstraram que a flexibilidade que existe ao serem contabilizados os dados até os valores de 70% de *UR*, pode ser importante na precisão, na acurácia e na melhora das estimativas em relação aos valores observados de *DPM*.

Os valores dos coeficientes lineares ( $a$ ), da reta de regressão entre *DPM* observada e estimada, foram tanto mais negativos quanto maior o valor do limite de  $UR_{\mu M}$ . A partir desses coeficientes tem-se uma noção da falta de acurácia das estimativas em relação as observações

de *DPM*. Assim, pode-se atribuir a melhor acurácia do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$ , a existência da extensão dos valores de *UR* até 70%. Com a extensão, o limite de  $UR_{\mu M}$  provavelmente foi deslocado até valores próximos ou abaixo de 80%. Esse fato resultou em uma maior superestimativa de *DPM* para o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  do que no limite  $UR_{\mu M} \geq 80\%$ . Os resultados possibilitaram que se obtivessem valores de precisão que podem ser considerados regulares ( $r=0,79$ ) e auxiliou na acurácia do modelo ( $d=0,80$ ), tanto que o coeficiente linear da regressão de comparação foi significativamente menor ( $a = -6,369$ ) para os resultados com o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  no experimento do outono de 2004 (Tabela 1 e Figura 5).

Quanto ao coeficiente de confiança *c*, no cultivo no outono de 2004, os limites de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  e  $\geq 80\%$  obtiveram um desempenho classificado como mediano. Os outros limites apresentaram um desempenho sofrível. Ao se observar o somatório dos valores das posições ordinais ( $\Sigma PO$ ), utilizado como auxílio para a eleição do melhor modelo dentre os valores das estatísticas, verificou-se que o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  e o limite de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$  somaram mesmo número de pontos. Entretanto, pode-se considerar o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  como o de melhor desempenho geral dentre os limites testados no cultivo de batata no outono de 2004, devido a sua tendência mais ajustada a linha 1:1 do que os demais limites de  $UR_{\mu M}$  testados.

No cultivo realizado no período de primavera de 2004, a *DPM* média observada foi de 13,90 h por noite, sendo seu desvio padrão de 2,42 h. Nesse período ficou evidente o efeito da variação da declinação solar e do comprimento do dia sobre as condições ambientais do cultivo. Em decorrência desse efeito, os valores de *DPM* observados foram de cerca de 16 h, nas primeiras observações e diminuíram até cerca de 12 h nas últimas observações noturnas.

Ao serem observados os resultados com os limites de  $UR_{\mu M} \geq 85\%$  e  $\geq 87\%$ , pode-se verificar que os valores das estatísticas de avaliação foram muito similares para esses limites (Tabela 2 e Figura 6). O limite de  $UR_{\mu M} \geq 85\%$  apresentou valores de *DMN* e dos coeficientes *a* e *b*, melhores do que o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$ , entretanto ocorreu uma dispersão maior de seus valores ( $r=0,74$  e  $r^2=0,59$ ) se comparado com a dispersão resultante da utilização do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$  ( $r=0,77$  e  $r^2=0,65$ ). Pode ser observado ainda, que a dispersão dos pontos aumentou tanto para os limites maiores quanto para os limites menores do que  $UR_{\mu M} \geq 87\%$ . Se forem considerados os valores fixos de  $UR_{\mu M}$  para a estimativa da *DPM*, verifica-se que os valores obtidos com o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$  podem resultar nas melhores estimativas de *DPM*. Dessa forma, ainda pode ser afirmado que a utilização do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$  foi a escolha mais adequada para serem atreladas extensões, tal como a extensão até 70% de umidade relativa proposta por Kruit et al. (2004) e utilizada nesse trabalho.

**Tabela 2** Limites de umidade relativa do ar ( $UR$ ), medida em uma estação meteorológica automática  $\mu$ -Metos ( $UR_{\mu M}$ ) e valores das estatísticas de avaliação do desempenho na estimativa da duração do período de molhamento foliar ( $DPM$ ), em um cultivo de batata realizado na primavera de 2004, em Santa Maria-RS.

Limites de $UR_{\mu M}$	$DPM$		$RMSE$				$E_t = a + bO_t$					
	$\bar{E}$ (h)	$DMN$	(h)	$s$	$ns$	$s \div ns$	$a$	$b$	$r$	$d$	$c$	$\Sigma PO$
$UR_{\mu M} \geq 80\%$	14,67	-0,055	2,02	0,86	1,83	0,47	3,004	0,839	0,70	0,83	0,58	32
$UR_{\mu M} \geq 85\%$	13,38	0,037	1,92	0,55	1,84	0,30	0,426	0,932	0,74	0,86	0,63	19
$UR_{\mu M} \geq 87\%$	12,96	0,067	1,86	0,96	1,59	0,60	0,255	0,914	0,77	0,87	0,67	20
$UR_{\mu M} \geq 90\%$	12,25	0,118	2,49	1,65	1,87	0,88	-1,235	0,970	0,74	0,80	0,60	31
$UR_{\mu M} \geq 87 70\%*$	14,79	-0,064	1,54	0,91	1,24	0,73	1,839	0,932	0,83	0,90	0,75	18

$DPM \bar{E}$  = média dos valores estimados da duração do período de molhamento por orvalho;  $DMN$  = diferença média normalizada;  $a$  e  $b$  = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_t$ ) e estimados ( $E_t$ );  $RMSE$  = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos ( $s$ ) e não sistemáticos ( $ns$ );  $r$ ,  $d$  e  $c$  = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança;  $\Sigma PO$  = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos limites de  $UR_{\mu M}$  utilizados nas estimativas. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na  $UR$ , respectivamente, quando os valores de  $UR$  estavam entre 70% e 87%.

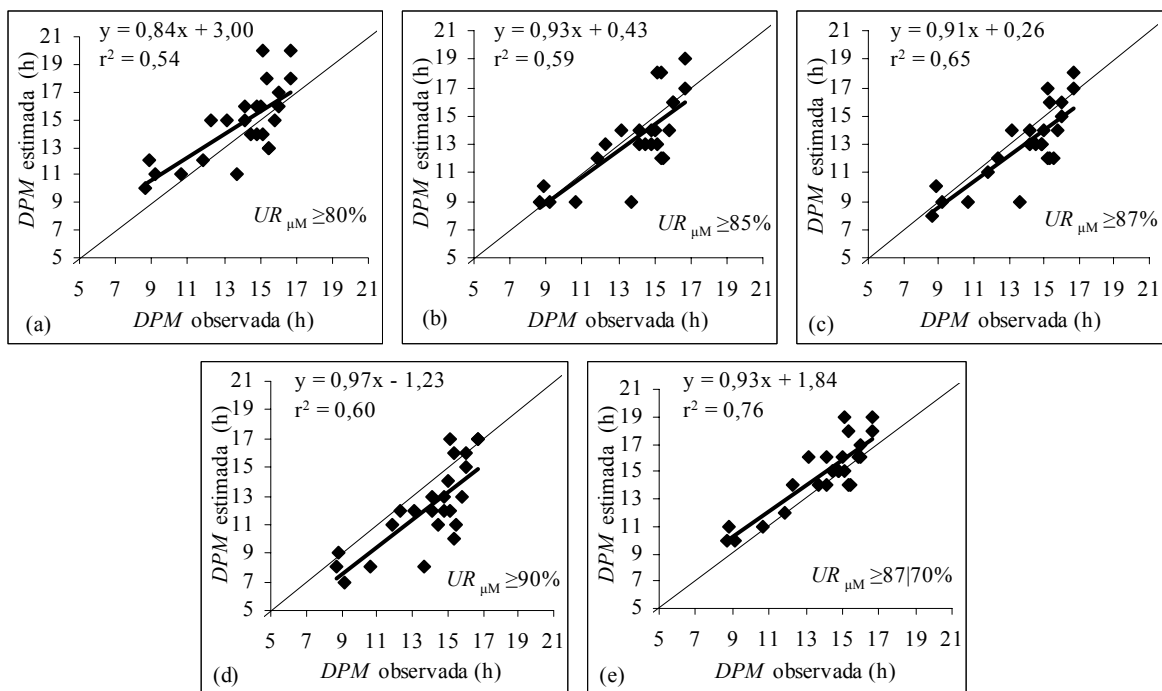
A assertiva de que o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$  foi o mais adequado para a utilização com uma extensão de valores até 70% de  $UR$ , pode ser sustentada inclusive para o cultivo no outono de 2004. Nesse cultivo, apesar do limite de  $UR_{\mu M} \geq 90\%$  apresentar o maior valor de coeficiente de correlação, observou-se que existe um erro sistemático grande nas suas estimativas. Além disso, o limite de  $UR_{\mu M} \geq 90\%$  ainda possui um menor coeficiente de exatidão e um maior valor de  $DMN$ , se comparado ao limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$ .

No cultivo na primavera de 2004, o limite de  $UR_{\mu M} \geq 90\%$  apresentou novamente o menor coeficiente de exatidão  $d$ , além do valor de  $RMSE$  mais elevado dentre os limites de  $UR_{\mu M}$  avaliados. Esse erro maior ocorreu em função da predominância de subestimativas da  $DPM$  e serve de indicativo de que a utilização do valor 90% de  $UR_{\mu M}$ , como limite para a estimativa da  $DPM$ , normalmente resulta na estimativa de períodos de molhamento mais curtos do que os períodos observados, fato constatado nos dois cultivos de 2004.

O limite de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$  apresentou valores das estatísticas de avaliação equivalentes ao limite de  $UR_{\mu M} \geq 90\%$ , no entanto, seus valores foram de superestimativa da  $DPM$ , principalmente nos períodos menores de molhamento foliar. Além disso, o limite  $UR_{\mu M} \geq 80\%$  apresentou a maior dispersão de dados do cultivo na primavera de 2004 ( $r=0,70$  e  $r^2=0,54$ ). Dessa forma e a partir do coeficiente de confiança, observou-se que os dois piores desempenhos foram obtidos com os limites de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$  e  $\geq 90\%$ , classificados como sofríveis (Tabela 2). Os limites de  $UR_{\mu M} \geq 85\%$  e  $\geq 87\%$ , apresentaram desempenhos classificados como mediano e bom, respectivamente. O limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  foi o que



apresentou os melhores resultados com um desempenho classificado como bom e muito próximo da classificação de desempenho muito bom, conforme o coeficiente de confiança  $c$ . Esse resultado se deveu aos valores bons de precisão e de elevada acurácia. Aliado a isso, o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  também apresentou o menor valor de  $RMSE$  dentre os limites avaliados, sendo o valor do seu erro não sistemático ( $ns$ ) superior ao erro sistemático ( $s$ ). Pode-se observar ainda que sua  $DMN$  foi próxima de zero e negativa, o que indica que existe apenas uma pequena tendência de superestimativa da  $DPM$ .



**Figura 6** Duração do período de molhamento ( $DPM$ ) determinada por observação visual e estimada pelos limites de umidade relativa  $UR_{\mu M} \geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%^*$ , num cultivo de batata realizado na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na  $UR$ , respectivamente, quando os valores de  $UR$  estavam entre 70% e 87%.

Ao serem comparadas as Figuras 6a até 6d entre si, pode-se verificar que, a disposição da distribuição dos valores estimados em relação aos observados para cada limite de  $UR_{\mu M}$ , não apresentou diferença entre os limites. Isso evidenciou que, com a utilização dos diferentes limites fixos de  $UR_{\mu M}$ , os erros de estimativa da  $DPM$  tornaram-se sistemáticos. De um modo geral, essa estimativa tornou-se tanto mais sistemática quanto maior o valor de  $UR$  utilizado. Esse fato também pode ser verificado na Tabela 2 e indica que ocorre maior

acurácia na estimativa dos dados com o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  em relação aos demais limites de  $UR$  avaliados.

No cultivo realizado no outono de 2005, as observações visuais foram substituídas por medições de  $DPM$  com a utilização de sensores. Esse procedimento foi realizado devido ao baixo número de observações visuais do início do molhamento coincidentes com as observações do término da secagem. Conseqüentemente, foram poucos os dias em que foi possível se obter a  $DPM$  por observação visual. Dessa forma, a partir da avaliação entre dados de  $DPM$  medidos e visualmente observados, foi verificado que os valores medidos de início de molhamento e de término da secagem podem substituir os dados obtidos por observação visual (Anexo II). A partir dessa constatação, foram utilizados 19 períodos, na avaliação da capacidade da  $UR_{\mu M}$  em estimar a  $DPM$  do cultivo no outono de 2005. Lembra-se, contudo, que os períodos utilizados foram aqueles com ausência de precipitação pluviométrica em que ocorreu resfriamento em função da perda radiativa noturna de energia, que é uma das condições meteorológicas essenciais para a formação de orvalho.

De acordo com os resultados verificados para o molhamento foliar medido pelos sensores, no cultivo de batata realizado no outono de 2005, o valor médio da  $DPM$  medida foi de 13,62 h e o desvio padrão foi de 4,09 h. Os valores médios de  $DPM$  foram menores no outono de 2005 do que no outono de 2004. Isso ocorreu devido ao fato de que, com as medições com sensores também foi possível identificar os períodos mais curtos de  $DPM$  no cultivo de outono de 2005, uma vez que nos experimentos anteriores não foi realizada observação visual ao longo de toda a noite, sendo interrompida entre as 23 h e as 6 h da manhã. Geralmente os períodos curtos de  $DPM$  tiveram o início da formação de orvalho tarde da noite ou a secagem ocorreu ainda no período da madrugada, que corresponde ao intervalo de tempo em que não houve acompanhamento por observação visual.

Os resultados obtidos a partir da comparação dos valores estimados de  $DPM$  com os dados medidos no cultivo realizado no outono de 2005, estão apresentados na Tabela 3 e na Figura 7. Verificou-se que o limite de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$  apresentou os piores valores das estatísticas de avaliação do desempenho na estimativa da  $DPM$ . Comparado aos demais limites avaliados, para o limite de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$  pode-se verificar o menor coeficiente de correlação ( $r=0,79$ ) e uma elevada tendência de superestimativa da  $DPM$  ( $DMN=-0,109$ ). Além disso, o limite de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$  apresentou o maior valor de  $RMSE$  dentre os limites utilizados na estimativa no outono de 2005. No entanto, observou-se uma boa distribuição entre a porção sistemática ( $s$ ) e não sistemática ( $ns$ ) dos seus erros e os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  foram próximos dos valores ideais para a relação entre a  $DPM$  medida e

estimada. Assim como no cultivo na primavera de 2004, pode-se verificar um desempenho pouco satisfatório da estimativa com o limite de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$ . Esses resultados indicam que o valor de 80% de  $UR$  não apresenta adequação para a utilização na estimativa da  $DPM$ , por ser um valor muito baixo de  $UR$ , superestimando os valores reais de  $DPM$ . Assim, apenas em algumas observações o número de horas de  $DPM$  estimada e medida ou observada foi coincidente, predominando valores de estimativa mais elevados do que os medidos ou observados.

**Tabela 3** Limites de umidade relativa do ar ( $UR$ ) utilizados para a estimativa da duração do período de molhamento foliar ( $DPM$ ) a partir dos valores medidos na estação automática  $\mu$ -Metos ( $\mu M$ ), em cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

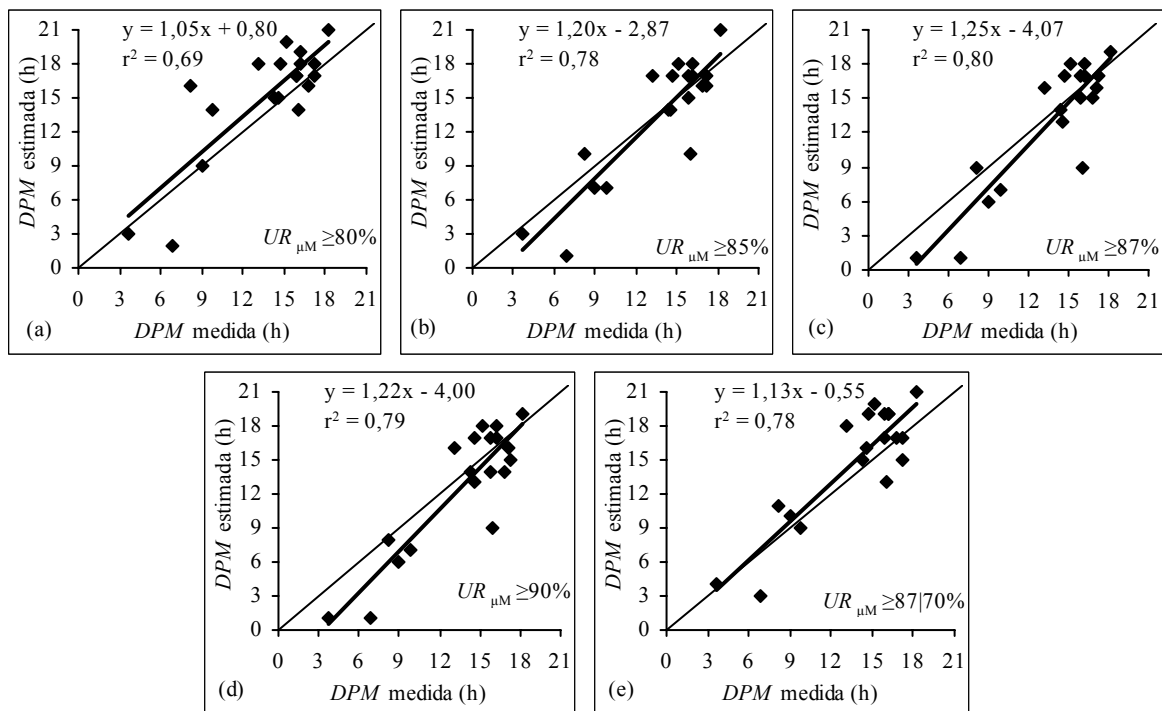
Limites de $UR_{\mu M}$	$DPM$		$RMSE$				$E_t = a + bO_t$					
	$\bar{E}$ (h)	$DMN$	(h)	$s$	$ns$	$s \div ns$	$a$	$b$	$r$	$d$	$c$	$\Sigma PO$
$UR_{\mu M} \geq 80\%$	15,11	-0,109	3,15	1,50	2,77	0,54	0,800	1,050	0,79	0,88	0,69	27
$UR_{\mu M} \geq 85\%$	13,42	0,015	2,62	0,81	2,49	0,32	-2,869	1,196	0,84	0,92	0,77	14
$UR_{\mu M} \geq 87\%$	12,89	0,053	2,75	1,22	2,46	0,49	-4,068	1,245	0,85	0,92	0,78	20
$UR_{\mu M} \geq 90\%$	12,63	0,073	2,86	1,33	2,53	0,52	-4,004	1,221	0,84	0,91	0,76	25
$UR_{\mu M} \geq 87 70\%*$	14,84	-0,090	2,73	1,32	2,39	0,55	-0,549	1,130	0,84	0,91	0,76	21

$DPM \bar{E}$  = média dos valores estimados da duração do período de molhamento por orvalho;  $DMN$  = diferença média normalizada;  $a$  e  $b$  = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_t$ ) e estimados ( $E_t$ );  $RMSE$  = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos ( $s$ ) e não sistemáticos ( $ns$ );  $r$ ,  $d$  e  $c$  = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança;  $\Sigma PO$  = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos limites de  $UR_{\mu M}$  utilizados nas estimativas. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na  $UR$ , respectivamente, quando os valores de  $UR$  estavam entre 70% e 87%.

A partir de uma análise geral da Tabela 3, verifica-se que os valores das estatísticas de avaliação foram similares entre si para os limites de  $UR$  utilizados, com exceção do limite de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$ . A avaliação da confiabilidade dos modelos pelo coeficiente  $c$  permitiu classificar os limites de  $UR_{\mu M} \geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%$  como “muito bons”. De acordo com essa classificação e pelos valores de precisão e acurácia das estimativas do cultivo no outono de 2005, os quatro limites citados anteriormente apresentaram o mesmo potencial para a estimativa da  $DPM$ .

Entretanto, se for observado o  $\Sigma PO$  na diferenciação dos modelos, aqueles que somaram os maiores valores foram os limites de  $UR_{\mu M} \geq 80\%$  e  $\geq 90\%$ . Esse resultado, verificado também no cultivo na primavera de 2004, evidencia o menor desempenho desses limites de  $UR_{\mu M}$  na estimativa da  $DPM$  na cultura da batata. O menor  $\Sigma PO$  das estatísticas foi verificado para o limite de  $UR_{\mu M} \geq 85\%$ , sendo seguido pelos limites de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$  e  $\geq 87|70\%$ . Os valores baixos de  $\Sigma PO$  auxiliam na eleição do modelo que reúne as melhores

características e que pode ser considerado o melhor, entre o conjunto de modelos avaliados. Entretanto, devido a similaridade entre as estatísticas de avaliação dos limites de  $UR_{\mu M} \geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$  e  $\geq 87|70\%$ , para a diferenciação entre esses limites, foram considerados os valores do coeficiente  $a$  da relação entre os valores medidos e estimados. Dessa forma, no cultivo no outono de 2005, o melhor desempenho foi atribuído ao limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$ , com o valor do  $a$  próximo a zero. Além do coeficiente  $a$  ser próximo a zero, a  $DPM$  estimada com o limite  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  apresentou coeficiente angular  $b$  mais próximo de um do que os limites de  $UR_{\mu M} \geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$  e  $\geq 90\%$ .



**Figura 7** Duração do período de molhamento ( $DPM$ ) determinada por sensores de molhamento e estimada pelos limites de umidade relativa  $UR_{\mu M} \geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%$ \* no cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na  $UR$ , respectivamente, quando os valores de  $UR$  estavam entre 70% e 87%.

Através da avaliação das estimativas da  $DPM$  com o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$ , pode ser verificado que a distribuição dos seus valores em relação aos medidos apresentou os melhores coeficientes de precisão ( $r=0,85$  e  $r^2=0,80$ ). Esse resultado também foi observado em parte nos cultivos no outono e na primavera de 2004 e ratifica a assertiva de que o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$  possui menor dispersão dos pontos estimados. Por essa razão esse limite pode ser

considerado o de maior potencial de resposta à utilização da extensão de  $UR$  até 70% na estimativa da  $DPM$  para os cultivos de batata.

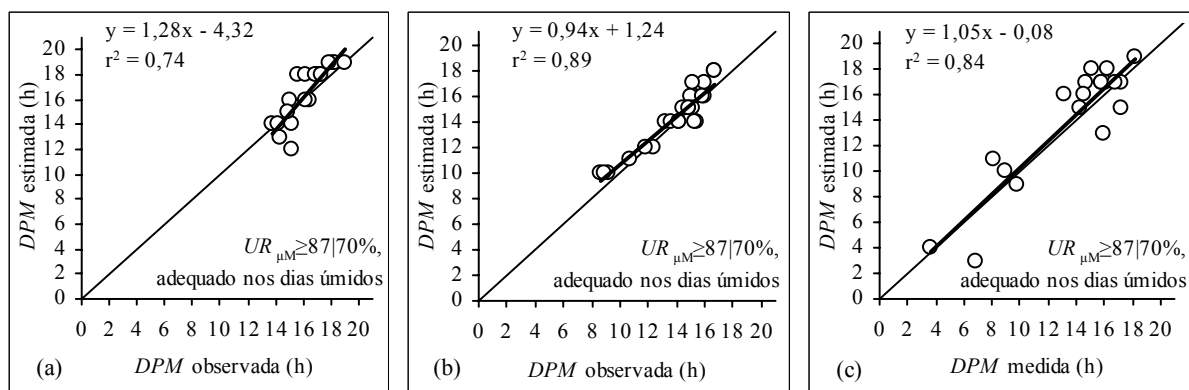
Ao observarmos conjuntamente os valores das estatísticas das Tabelas 1, 2 e 3 e as Figuras 5, 6 e 7, verifica-se que o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  apresenta os melhores resultados e sua utilização pode ser indicada como forma de estimativa da  $DPM$  dos cultivos de batata. No entanto, ao serem comparados os gráficos referentes ao limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  com os gráficos do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$ , foi observado que ocorreram períodos em que os valores das superestimativas de  $DPM$  foram bastante elevados quando utilizado o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$ , enquanto que, para esses mesmos períodos, as estimativas da  $DPM$  pelo limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$  foram próximas dos valores observados. Dessa forma, para esses períodos em especial, pode-se concluir que o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  não foi o mais adequado. Nesse caso, cabe a inferência de que as estimativas da  $DPM$  podem ser melhoradas se forem dispensados, analiticamente, os valores de estimativa da  $DPM$  contabilizados com a extensão da  $UR_{\mu M}$  até os valores de 70%. Para isso, no entanto, torna-se necessário que sejam identificados os casos em que, pelas condições de ambiente, a utilização da extensão até os valores de 70% de  $UR_{\mu M}\%$  pode ser dispensada do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$ .

A avaliação dos casos para a verificação da possibilidade de se separar os dados e não utilizar a extensão dos valores de  $UR_{\mu M}$  até 70%, permitiu verificar que a utilização do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  apresentou seus melhores resultados nos dias com valores baixos de  $UR$ . Para esses dias, as manhãs foram relativamente secas e o tempo de molhamento foliar foi abreviado pela ocorrência de valores crescentes de densidade de fluxo de radiação solar incidente. No entanto, a secagem das superfícies das folhas não ocorreu com a mesma velocidade da resposta da  $UR$  a condição de ambiente citada. Assim, a evaporação da água sobre as folhas aconteceu mais lentamente e se prolongou por períodos de tempo em que os valores de  $UR$  eram inferiores a 87%. Dessa forma, para esses dias, o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$  subestimou a  $DPM$ , ao não serem contabilizados períodos em que ainda podia se verificar molhamento foliar sobre as plantas.

Quando ocorreram períodos úmidos, verificou-se que a utilização do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  resultou em valores altos de superestimativa da  $DPM$ . Esses dias foram caracterizados por apresentarem valores de  $UR_{\mu M}$  mínima do dia em torno de 70% ou superiores. Ainda observaram-se casos, no período vespertino, nos quais houve apenas uma ou duas horas nas quais a  $UR_{\mu M}$  permaneceu em valores inferiores a 70%. Para dias com essas características de ambiente, a estimativa da  $DPM$  apresentou melhor ajuste com a utilização

do limite  $UR_{\mu M} \geq 87\%$ , sem considerar a  $DPM$  estimada pela extensão até valores de 70% de  $UR_{\mu M}$ .

Como pode ser observado, a resposta dos limites de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$  e  $\geq 87|70\%$ , foi diferenciada para as condições de ambiente de acordo com a maior ou menor umidade do ar. A partir dessa resposta, foi possível estabelecer critérios para que seja dispensada a extensão da  $UR$  até 70%, de acordo com as condições de tempo predominantes no período. Dessa forma, quando ocorreram períodos úmidos, caracterizados por tardes com valores de  $UR$  acima de 70%, noites que apresentaram valores de  $UR$  acima de 95%, em praticamente todo período da noite e por períodos com valores de  $UR$  maiores do que 90% que se estenderam além das 09h da manhã, a utilização da extensão da  $UR$  até os valores de 70% pode ser dispensada, sem que ocorram erros na estimativa da  $DPM$ . Para dias com essas características, foram verificadas pequenas superestimativas com o limite de  $UR_{\mu M} \geq 87\%$ , tanto nos cultivos de 2004, quanto no cultivo no outono de 2005.



**Figura 8** Duração do período de molhamento ( $DPM$ ) determinada por observação visual e medida por sensores de molhamento e estimada pelo limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%*$ , o qual foi adequado nos dias úmidos, em cultivos de batata realizados no outono (a) e na primavera (b) de 2004 e no outono de 2005 (c), em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na  $UR$ , respectivamente, quando os valores de  $UR$  estavam entre 70% e 87%.

Nos cultivos no outono de 2004 e no outono de 2005, a partir da comparação dos valores das estatísticas de avaliação do desempenho do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  (Tabelas 1 e 3) e do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$ , quando adequado para dias úmidos (Figura 8 e Tabela 4), verificou-se uma melhora considerável no coeficiente de exatidão e nos valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  da relação entre os valores de  $DPM$  observados e estimados (Figura 8). Entretanto, apesar de que os valores de  $RMSE$  (Tabela 4) obtidos pelas estimativas do limite

de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$ , adequado nos dias úmidos, foram menores do que os valores de  $RMSE$  verificados com a estimativa da  $DPM$  do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$  sem a adequação (Tabela 1 e 3), não foram verificadas melhoras substanciais na precisão para os cultivos de outono. Isso provavelmente ocorreu devido à época do ano das determinações da  $DPM$ , que deve ter contribuído para a dispersão dos dados estimados.

**Tabela 4** Valores das estatísticas de avaliação do desempenho do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$ \* adequado para dias úmidos, na estimativa da duração do período de molhamento foliar ( $DPM$ ), nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

Cultivo	$DPM$		$RMSE$				$E_t = a + bO_t$				
	$\bar{E}$ (h)	$DMN$	(h)	$s$	$ns$	$s \div ns$	$a$	$b$	$r$	$d$	$c$
Outono 2004	16,53	-0,017	1,24	0,50	1,13	0,44	-4,325	1,283	0,81	0,88	0,72
Primavera 2004	14,29	-0,028	0,88	0,42	0,78	0,54	1,244	0,939	0,91	0,96	0,87
Outono 2005	14,16	-0,039	1,92	0,56	1,83	0,31	-0,081	1,045	0,87	0,95	0,82

$DPM \bar{E}$  = média dos valores estimados da duração do período de molhamento por orvalho;  $DMN$  = diferença média normalizada;  $a$  e  $b$  = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_t$ ) e estimados ( $E_t$ );  $RMSE$  = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos ( $s$ ) e não sistemáticos ( $ns$ );  $r$ ,  $d$  e  $c$  = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na  $UR$ , respectivamente, quando os valores de  $UR$  estavam entre 70% e 87%.

Para o cultivo na primavera de 2004, foi verificada uma melhora em todas as estatísticas de avaliação a partir do limite de  $UR_{\mu M} \geq 87|70\%$ , quando adequado nos dias úmidos. No geral, os resultados foram bastante satisfatórios e o desempenho do limite pode ser classificado como ótimo segundo o coeficiente de confiança  $c$ . Apesar de não se dispor de um experimento para verificação das estimativas na época de primavera, presume-se que as respostas seriam similares, como foi verificado nos resultados dos dois cultivos realizados nos períodos de outono de 2004 e de 2005. Além disso, pode-se considerar que os dois cultivos de outono tiveram condições mais adversas para as estimativas dos valores de  $DPM$ , sendo inclusive mais difíceis de serem avaliados, se comparados ao cultivo realizado na primavera.

#### 4.2.2 Estimativa da $DPM$ através da $UR$ medida em diferentes alturas no perfil do ar

Conforme foi verificado nas análises das estimativas da  $DPM$  a partir de valores de  $UR$  medidos a 1,5 m de altura na estação automática  $\mu$ -Metos, os valores de 90% de  $UR$  são pouco representativos do molhamento que ocorre sobre as folhas da cultura da batata. No

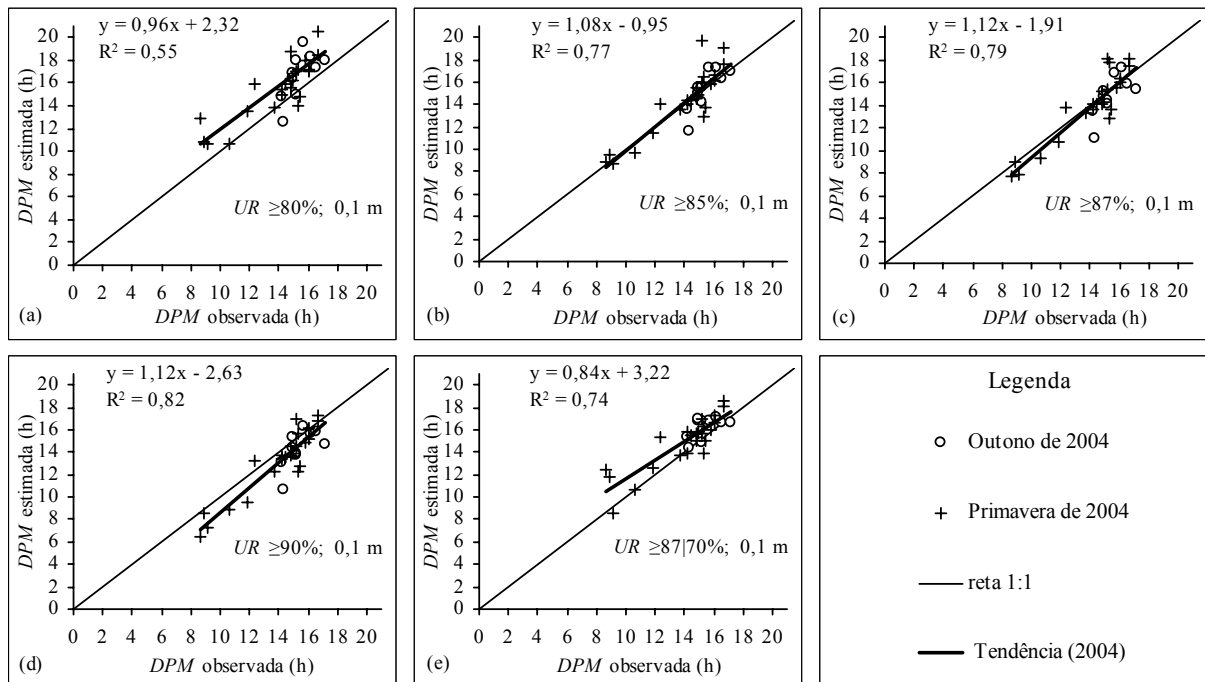
entanto, o limite de  $UR$  de 90% pode ser adequado quando utilizado para a estimativa da  $DPM$  a partir de valores de  $UR$  medidos no interior do cultivo (ANDRADE-PIEDRA et al., 2005). A partir disso, pode ser considerada a hipótese de que a altura em que são medidos os valores de  $UR$  interferiu no valor da  $DPM$  estimado. Dessa forma, nessa avaliação das estimativas da  $DPM$  foi analisada também a adequação dos limites de  $UR \geq 80\%$ ,  $UR \geq 85\%$ ,  $UR \geq 87\%$ ,  $UR \geq 90\%$  e  $UR \geq 87|70\%$ , quando medidos nas alturas de 0,1 m, 0,4 m, 1,0 m e 1,5 m acima do solo, no perfil dos cultivos de batata, cujos resultados são apresentados nas Figuras 9, 10, 11, 12 e 13 e nas Tabelas 5 e 6.

Os dados utilizados como referências, para análise e avaliação, foram obtidos no outono e na primavera de 2004 por observações visuais. No outono de 2004, a média da  $DPM$ , determinada em 10 períodos de observações visuais no terço superior do cultivo, foi de 15,43 h e o seu desvio padrão de 0,95 h. No cultivo realizado na primavera de 2004, a média da  $DPM$  observada foi de 13,93 h, sendo verificado um desvio padrão de 2,47 h em 23 determinações visuais realizadas. No outono e na primavera de 2004, o número de observações e dos valores de  $UR_{\mu M}$  diferiu do número de valores de  $UR$  do perfil do ar utilizados nas análises das estimativas da  $DPM$  no cultivo de batata, devido ao fato de que os equipamentos de coletas dos dados, no perfil do ar, apresentaram problemas na aquisição e armazenagem dos dados. Além disso, no cultivo realizado no outono de 2004, ocorreu o acamamento das plantas de batata devido as fortes rajadas de vento, as quais foram seguidas por precipitação e ocorreram aos 32 e aos 36 DAE. Dessa forma, as determinações de temperatura do interior do dossel de cultivo, a partir dos sensores instalados a 0,1 m de altura do solo, foram prejudicadas. Para que fosse possível a comparação dos resultados nas diferentes alturas, foram retirados do banco de dados aqueles valores coletados após o acamamento das plantas de batata. Assim, os resultados apresentados na Tabela 5 são referentes à avaliação do desempenho das estimativas de  $DPM$ , obtidas pela utilização dos dados de  $UR$  medidos durante os dois cultivos realizados no ano de 2004. Dessa forma, foi realizada a avaliação conjunta de um número maior de observações, resultante de experimentos de duas épocas, o que é estatisticamente mais representativo. Assim, o valor médio de  $DPM$  obtido por visualização, para os dois cultivos de 2004 foi de 14,38 h e o desvio padrão foi de 2,22 h.

Na Figura 9 ilustra-se a capacidade de estimativa da  $DPM$  em função dos valores de  $UR$  determinada com os sensores instalados no interior do dossel dos cultivos de 2004, a 0,1 m do solo. Para a estimativa da  $DPM$ , no interior do dossel, verifica-se que o limite de  $UR \geq 80\%$  foi o menos adequado, apresentando uma alta tendência de superestimativa. O seu



desempenho pode ser classificado como sofrível, de acordo com o coeficiente de confiança  $c$  (Tabela 5).



**Figura 9** Duração do período de molhamento por orvalho ( $DPM$ ), determinada por observação visual e a partir dos limites de umidade relativa do ar ( $UR$ )  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%^*$ , medidos a 0,1 m do solo, no interior de um dossel de plantas de batata, em cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na  $UR$ , respectivamente, quando os valores de  $UR$  estavam entre 70% e 87%.

O limite de  $UR \geq 87|70\%$ , medido a 0,1 m do solo, também apresentou tendência de superestimativa dos valores de  $DPM$ . A distribuição dos valores estimados em relação aos observados apresentou a mesma tendência dos valores estimados pelo limite de  $UR \geq 80\%$ . No entanto, apesar de abranger valores de  $UR$  entre 87% e 70%, os valores das estimativas do limite de  $UR \geq 87|70\%$  foram mais concentrados próximo da linha 1:1, principalmente, nos valores altos de  $DPM$  observada. Esse fato resultou em melhores valores de precisão ( $r$ ) e acurácia ( $d$ ) se comparado com os valores do limite de  $UR \geq 80\%$  (Tabela 5).

A utilização do limite de  $UR \geq 90\%$  subestimou os valores de  $DPM$  na grande maioria das observações. Dessa forma, observou-se que o limite de  $UR \geq 90\%$  pode ser considerado um valor muito alto para a estimativa da  $DPM$ , mesmo sob as condições de ambiente no interior do dossel da batata. Entretanto, o seu desempenho foi classificado como

muito bom de acordo com o coeficiente de confiança. Esse fato provavelmente se deve a distribuição dos seus valores de estimativa da *DPM* em torno da média, sendo verificados valores altos de coeficientes de correlação ( $r$ ) e de ajuste dos dados ( $r^2$ ), os quais contribuíram para elevar o coeficiente de confiança ( $c$ ).

**Tabela 5** Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*) a partir de valores limites de umidade relativa do ar (*UR*) medida em diferentes alturas em dois cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS.

<i>UR</i> %	Altura (m)	<i>DPM</i> $\bar{E}$ (h)	<i>DMN</i>	<i>RMSE</i>				$E_i = a + bO_i$					$\Sigma$ PO	
				(h)	<i>s</i>	<i>ns</i>	$s \pm ns$	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	p/alt.	geral
≥80	0,1	16,07	-0,117	2,53	1,69	1,89	0,89	2,319	0,956	0,72	0,74	0,54	33	80
≥85	0,1	14,56	-0,013	1,30	0,25	1,28	0,20	-0,953	1,079	0,85	0,92	0,79	13	21
≥87	0,1	14,16	0,015	1,31	0,34	1,27	0,27	-1,908	1,117	0,86	0,93	0,80	15	25
≥90	0,1	13,49	0,062	1,48	0,93	1,14	0,82	-2,630	1,121	0,88	0,91	0,80	24	43
≥87 70*	0,1	15,26	-0,061	1,44	0,95	1,08	0,88	3,220	0,837	0,84	0,89	0,74	31	52
≥80	0,4	14,15	0,016	1,15	0,24	1,12	0,21	-0,262	1,002	0,86	0,94	0,81	10	12
≥85	0,4	13,12	0,088	1,63	1,26	1,03	1,22	-1,059	0,986	0,87	0,88	0,77	19	52
≥87	0,4	12,55	0,127	2,16	1,83	1,15	1,59	-2,337	1,035	0,86	0,82	0,71	28	69
≥90	0,4	11,81	0,179	2,84	2,58	1,20	2,15	-3,515	1,065	0,86	0,74	0,64	36	91
≥87 70*	0,4	14,57	-0,013	1,27	0,53	1,15	0,46	3,437	0,774	0,80	0,90	0,72	22	43
≥80	1,0	13,65	0,051	1,50	0,73	1,32	0,55	-0,753	1,002	0,83	0,90	0,75	14	43
≥85	1,0	12,27	0,147	2,58	2,12	1,47	1,44	-3,508	1,097	0,83	0,78	0,64	23	82
≥87	1,0	11,74	0,184	3,04	2,69	1,42	1,89	-5,904	1,227	0,86	0,74	0,64	28	93
≥90	1,0	10,75	0,252	4,04	3,67	1,69	2,17	-7,386	1,261	0,83	0,64	0,53	36	111
≥87 70*	1,0	14,08	0,021	1,46	0,31	1,43	0,22	-0,674	1,026	0,82	0,91	0,74	12	34
≥80	1,5	13,37	0,070	1,91	1,02	1,62	0,63	-0,544	0,967	0,77	0,85	0,65	17	57
≥85	1,5	12,13	0,156	2,75	2,25	1,58	1,43	-2,885	1,044	0,80	0,75	0,60	23	84
≥87	1,5	11,49	0,201	3,35	2,91	1,65	1,77	-5,488	1,181	0,82	0,70	0,57	29	100
≥90	1,5	10,51	0,270	4,34	3,91	1,89	2,06	-7,064	1,222	0,79	0,60	0,48	38	115
≥87 70*	1,5	13,95	0,030	1,47	0,43	1,41	0,31	-0,573	1,010	0,82	0,90	0,74	9	38

*DPM*  $\bar{E}$  = média dos valores estimados da duração do período de molhamento; *DMN* = diferença média normalizada; *RMSE* = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos (*s*) e não sistemáticos (*ns*); *a* e *b* = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_i$ ) e estimados ( $E_i$ ); *r*, *d* e *c* = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança;  $\Sigma$  PO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos limites de *UR* utilizados nas estimativas da *DPM* por altura (p/alt.) e entre todas as alturas (geral). \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%.

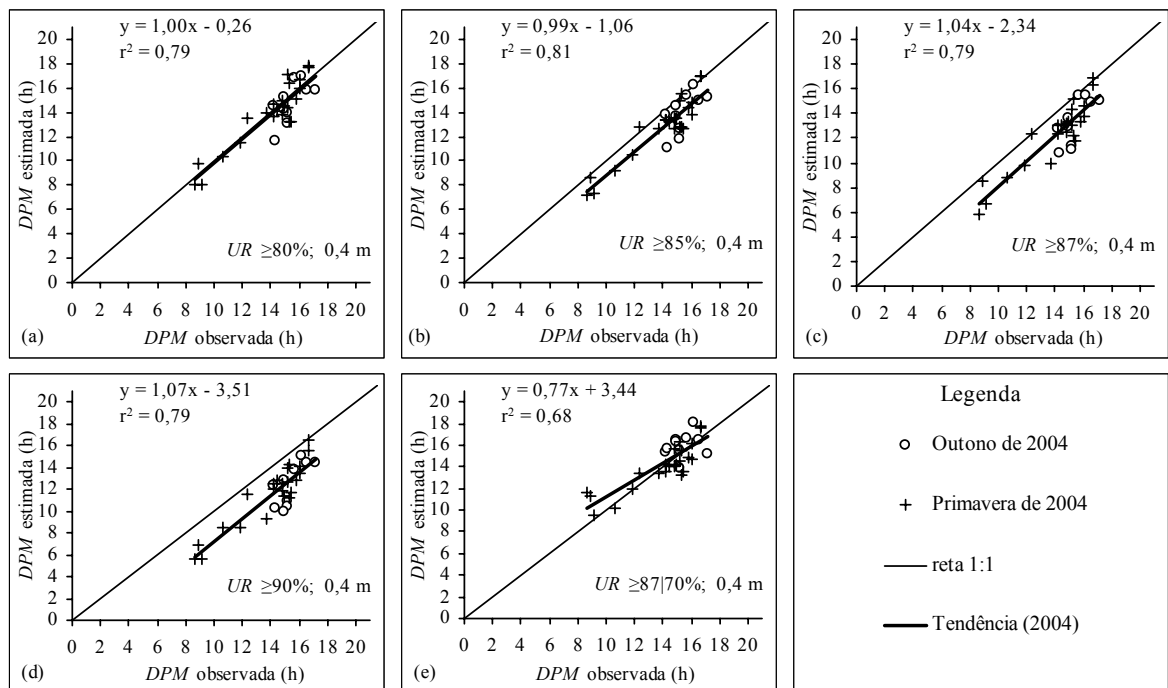
A partir da comparação entre os diferentes limites de *UR*, medidos a 0,1 m do solo e utilizados para a estimativa da *DPM*, foi observado que o melhor desempenho foi obtido com o limite de *UR*  $\geq 85\%$ . O limite de *UR*  $\geq 87\%$  também apresentou resultados satisfatórios conforme as estatísticas calculadas, sendo o seu desempenho similar ao desempenho do limite de *UR*  $\geq 85\%$  (Tabela 5). No entanto, se observou que ocorreu maior dispersão dos valores de *DPM* para o limite de *UR*  $\geq 85\%$  se comparado ao limite de *UR*  $\geq 87\%$  (Figura 9). Em contrapartida, o valor do coeficiente linear *a* da equação de regressão entre os valores de

*DPM* observados e estimados foi maior, em valor absoluto, para o limite de  $UR \geq 87\%$  do que para o limite de  $UR \geq 85\%$ . Apesar da pequena diferenciação, o desempenho dos limites de  $UR \geq 85\%$  e  $UR \geq 87\%$ , foi classificado como muito bom, segundo o coeficiente de confiança  $c$ , e os valores do  $\Sigma PO$  das estatísticas de avaliação (Tabela 5) permitem considerar que os limites de  $UR \geq 85\%$  e  $UR \geq 87\%$  possuem o mesmo potencial para a utilização na estimativa da *DPM* dos cultivos de batata, a partir de dados de *UR* medidos no interior do dossel de plantas, a 0,1 m de altura do solo.

Para a estimativa da *DPM* nos cultivos de batata a partir dos dados de *UR* medidos logo acima do topo da cultura, a 0,4 m de altura do solo, foi verificado que o limite de  $UR \geq 80\%$  apresentou os melhores valores para as estatísticas de avaliação, sendo seguido pelo limite de  $UR \geq 85\%$ . O limite de  $UR \geq 80\%$  apresentou o menor valor de *RMSE* e um erro sistemático muito menor do que o erro não sistemático. Esses resultados, ainda são corroborados pelos valores elevados do coeficiente de exatidão ( $d$ ) de Willmott (1985). O limite de  $UR \geq 87|70\%$  também apresentou valores das estatísticas de avaliação similares ao limite de  $UR \geq 80\%$ , embora tenha sido o limite que apresentou os menores valores para os coeficientes de correlação (Tabela 5) e de ajuste dos dados (Figura 10e).

O limite de  $UR \geq 85\%$  apresentou valores razoáveis para as estatísticas de avaliação do desempenho na estimativa da *DPM* a partir de valores de *UR* medidos a 0,4 m de altura. No entanto, apesar do limite de  $UR \geq 85\%$  apresentar o mais alto valor de coeficiente de correlação ( $r$ ) e de ajuste dos dados ( $r^2$ ), foi verificado que esse limite possui a tendência de subestimar os valores de *DPM*. Da mesma forma, pode ser observado que a tendência de subestimativa dos valores de *DPM* aumentou a medida que foram utilizados valores maiores de limite de *UR*, tais como  $UR \geq 87\%$  e  $UR \geq 90\%$  (Figura 10). Esse fato indica que, para a condição ambiente imediatamente acima do dossel de plantas, a 0,4 m de altura do solo, a formação de orvalho ocorreu com um teor mais baixo de *UR*, conforme também observado por Costa et al. (2002). Segundo Monteith (1957), ocorre uma diminuição do teor de vapor d'água e da *UR* pela condensação do vapor do ar sobre as superfícies das plantas. Entretanto, provavelmente o fato que mais colaborou, para o início da formação de orvalho com valores baixos de umidade relativa acima do dossel ( $UR \approx 80\%$ ), foi a alta taxa de perda de energia radiativa das superfícies das folhas expostas, resfriando-se rapidamente, enquanto o ar sobre o dossel ainda estava mais aquecido e se resfriava mais lentamente. Assim, o valor de *UR* ainda permaneceu baixo, pois o ar mais quente pode conter maior quantidade de vapor. No entanto, as superfícies do topo do dossel encontravam-se resfriadas a valores de temperatura inferiores

aos valores do ponto de orvalho do ar adjacente, causando a saturação do ar pelo vapor e a sua condensação sobre as folhas.



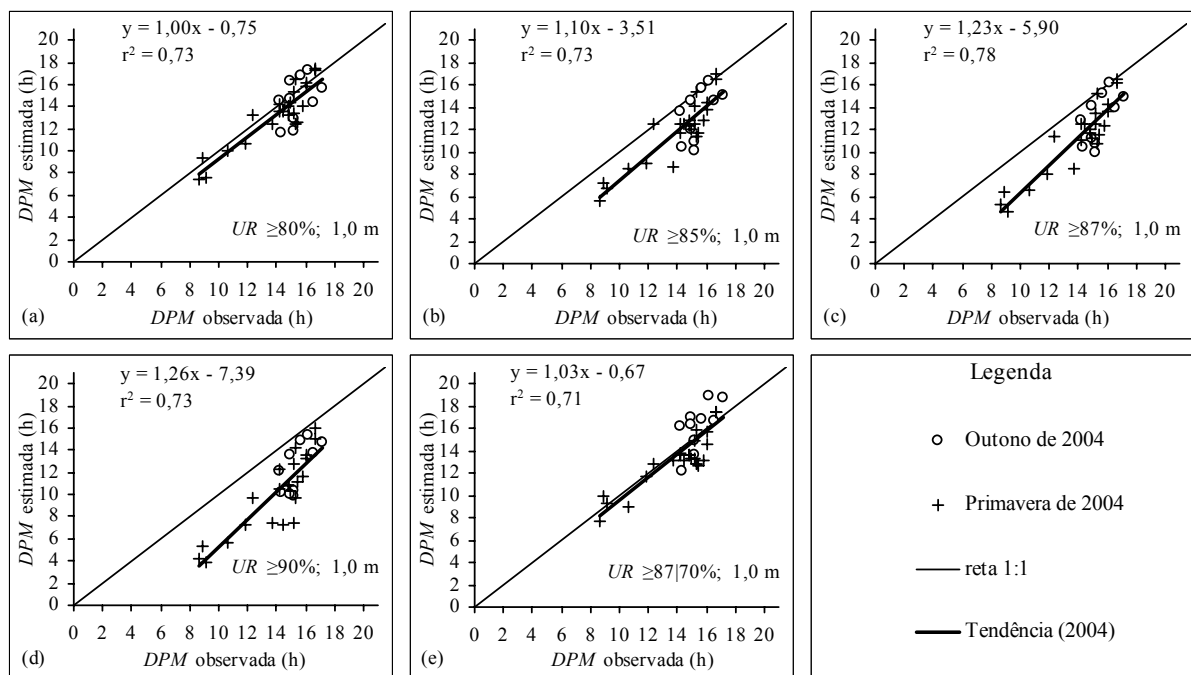
**Figura 10** Duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*), determinada por observação visual e a partir dos valores de umidade relativa do ar ( $UR \geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%*$ , medidos a 0,4 m do solo, sobre o dossel de plantas de batata, em cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na  $UR$ , respectivamente, quando os valores de  $UR$  estavam entre 70% e 87%.

Os resultados obtidos permitem inferir que o valor do limite ideal para a estimativa da *DPM*, a partir da  $UR$  medida a 0,4 m de altura do solo, foi próximo de 80%, entre os valores de 80% e 70% de  $UR$ . Essa suposição pode ser confirmada a partir da verificação dos valores de *DMN* negativo para o limite de  $UR \geq 87|70\%$  e positivo para o limite de  $UR \geq 80\%$ , sendo o provável valor zero de *DMN* pouco abaixo de 80%. Esse resultado também pode ser deduzido pela similaridade dos valores de *RMSE*, de  $s^2ns$ , e pelos valores dos coeficientes de exatidão  $d$  obtidos quando da utilização desses dois limites de  $UR$ , medidos a 0,4 m de altura (Tabela 5).

O desempenho obtido quando da utilização dos limites de  $UR \geq 80\%$  e  $UR \geq 85\%$  pode ser classificado como muito bom, segundo o coeficiente de confiança  $c$ , sendo destacado

o desempenho obtido com o limite de  $UR \geq 80\%$  para o qual foi verificado o menor  $\Sigma PO$  das estatísticas. Já a utilização dos limites de  $UR \geq 87\%$  e  $UR \geq 87|70\%$  resultaram em estimativas que apresentaram um desempenho classificado como bom e para o limite de  $UR \geq 90\%$  o desempenho foi classificado como mediano.

Para a estimativa da  $DPM$ , a partir dos valores de  $UR$  medidos a 1,0 m de altura do solo, foi observado que o limite de  $UR \geq 87|70\%$  apresentou o melhor conjunto de valores das estatísticas de avaliação. Uma resposta bastante similar a do limite de  $UR \geq 87|70\%$  foi verificada para os valores das estatísticas de avaliação do limite de  $UR \geq 80\%$  com valores medidos a 1,0 m de altura do solo. Contudo, ao serem comparados entre si os resultados obtidos com os diferentes limites (Figura 11), verifica-se que ocorreu a tendência de subestimativa para o limite de  $UR \geq 80\%$ , sendo essa tendência de subestimativa dos valores de  $DPM$  mais acentuada para os limites maiores de  $UR$ . Essa resposta indica que grande parte dos valores de  $DPM$  dos dias avaliados ocorreu sob condições de  $UR$  em torno ou menores do que 80% quando a medição de  $UR$  foi a 1,0 m de altura do solo.



**Figura 11** Duração do período de molhamento por orvalho ( $DPM$ ), determinada por observação visual e a partir dos limites de umidade relativa do ar ( $UR \geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%*$ , medidos a 1,0 m de altura do solo, sobre o dossel de plantas de batata, em cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na  $UR$ , respectivamente, quando os valores de  $UR$  estavam entre 70% e 87%.

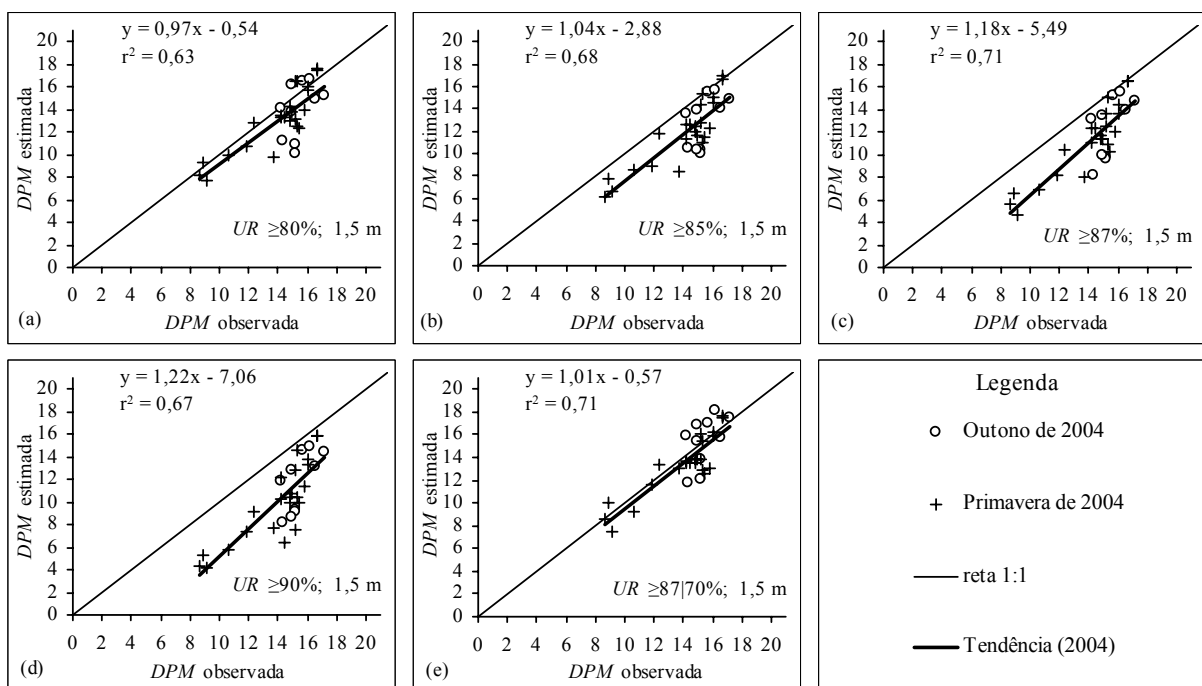
Na Figura 11 verifica-se também a tendência de que os valores baixos de *DPM* podem ser mais subestimados do que os valores acima de 15 horas, principalmente com os limites de  $UR \geq 87\%$  e de  $UR \geq 90\%$ . Os valores baixos de *DPM* foram mais subestimados pelos limites de  $UR \geq 87\%$  e de  $UR \geq 90\%$  porque a aproximação da saturação de vapor do ar, desde o solo até as camadas imediatamente sobre o dossel de plantas, provavelmente ocorreu antes a 0,4 m de altura, devido ao maior resfriamento do dossel e posteriormente nas camadas de ar de 1,0 m e 1,5 m de altura. Isso pode ser verificado pela comparação entre os erros de subestimativas dos valores baixos de *DPM*, apresentados pelos limites de  $UR \geq 87\%$  e de  $UR \geq 90\%$ , quando medidos a altura de 0,4 m (Figura 10c e 10d) e a 1,0 m do solo (Figura 11c e 11d). Por outro lado, a 1,0 m e acima dessa altura, nos períodos úmidos, nos quais a alta *UR* provavelmente se distribuiu até acima de 1,5 m do cultivo, foram observados valores altos de *DPM* e todas as camadas apresentaram similaridade nos valores de pressão de vapor d'água no ar. Assim os limites de  $UR \geq 87\%$  e de  $UR \geq 90\%$  estimaram os valores altos de *DPM* com maior acurácia do que os valores menores de *DPM*, quando se utilizaram dados de *UR* medidos a 1,0 m de altura do solo.

O limite de  $UR \geq 87|70\%$  apresentou um desempenho que pode ser classificado como bom juntamente com o limite de  $UR \geq 80\%$ , para as estimativas de *DPM* com *UR* medida a 1,0 m de altura do solo, conforme expressa o coeficiente de confiança *c*. Se for observada a distribuição dos valores estimados em relação aos observados na Figura 11, pode-se verificar que o limite  $UR \geq 87|70\%$  apresentou o menor coeficiente de ajuste dos dados ( $r^2$ ). No entanto, os valores do coeficiente de exatidão e da *DMN* indicaram uma elevada proximidade das estimativas realizadas com o limite  $UR \geq 87|70\%$ , medido a 1,0 m do solo, em relação às observações visuais, sendo os erros de estimativa da *DPM* pouco sistemáticos, como pode ser verificado pela relação  $s \div ns$  (Tabela 5).

A partir dos valores de *DPM* estimados com os dados de *UR* medidos a 1,0 m de altura do solo, pode se verificar que o limite de  $UR \geq 87|70\%$  foi adequado para a estimativa dos valores baixos de *DPM*. Já o limite de  $UR \geq 87\%$  resultou em elevada subestimativa para os valores baixos de *DPM*, mas para a estimativa dos valores altos de *DPM* a superestimativa foi menor se comparado ao limite de  $UR \geq 87|70\%$ . Esses resultados são concordantes com aqueles verificados na estimativa da *DPM* a partir da utilização da estação automática  $\mu$ -Metos. Na ocasião, foi observado que o limite de  $UR \geq 87|70\%$  apresentou o melhor desempenho para a estimativa da *DPM* nos dias caracterizados como secos. Já para dias úmidos, o limite de  $UR \geq 87|70\%$  apresentou elevados valores de superestimativa da *DPM*. Dessa forma foi verificado que a extensão dos valores de *UR* até 70% torna-se dispensável

para os dias úmidos, isto é, para dias em que, no período da tarde, a *UR* permanece acima de 70%.

Na Figura 12 são apresentados os valores das estimativas da *DPM*, a partir da *UR* medida a 1,5 m de altura do solo, sobre o cultivo de batata. Os resultados para essa altura de medida da *UR* indicam que o melhor conjunto de valores das estatísticas de avaliação foi obtido com o limite de  $UR \geq 87|70\%$ . Os principais erros do limite de  $UR \geq 87|70\%$  foram verificados nos valores de *DPM* do cultivo no outono de 2004. Os erros foram de superestimativa da *DPM* em dias que foram caracterizados como muito úmidos. Por esse fato ocorreu a estimativa da *DPM* por um período mais prolongado pela manhã, até valores de *UR*, que provavelmente foram inferiores a 80%. No entanto, dias muito úmidos possuem poucos momentos em que a *UR* se situa abaixo de 80%. Dessa forma, ocorreu a estimativa de períodos muito prolongados de molhamento. Em função disso, quando forem identificados dias úmidos, pode-se aconselhar que seja dispensada a extensão do cálculo da *DPM* para valores de *UR* menores do que 87% até próximo de 70%.



**Figura 12** Duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*), determinada por observação visual e a partir dos limites de umidade relativa do ar (*UR*)  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$ ,  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$ ,  $\geq 87|70\%*$ , medidos a 1,5 m de altura do solo, sobre o dossel de plantas de batata, em cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS. \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%.

No entanto, não foi possível verificar uma distinção clara entre os dias secos e úmidos, como foi possível a partir dos critérios utilizados quando a  $UR$  foi medida pela estação automática  $\mu$ -Metos. Dessa forma, pode-se indicar que seja dispensada a utilização da extensão até valores de 70% do limite de  $UR \geq 87|70\%$ , somente quando forem observadas condições com valores altos de  $UR$  durante os dias que precedem e sucedem a noite para a qual se quer estimar a  $DPM$ . A razão para a dispensa da extensão até 70% do limite de  $UR \geq 87|70\%$ , deve-se ao fato de que a identificação dos momentos em que ocorre o acréscimo  $\geq 3\%$  e o decréscimo  $\geq 2\%$  nos valores de  $UR$ , em meia hora, que caracterizam o início do molhamento e o término da secagem, respectivamente, torna-se de difícil percepção quando os valores de  $UR$  são altos durante o dia, pois o acréscimo e o decréscimo ocorrem mais lentamente nesses dias. Para dias com essa característica podem ocorrer problemas na identificação do início e do término do molhamento, sugerindo-se, nesse caso, optar apenas pelo limite de  $UR \geq 87\%$ . Essa opção dificilmente irá apresentar problemas de subestimativas muito acentuadas, que possam comprometer a tomada de decisão em um sistema de alerta, pois pode ser verificado que os valores que foram superestimados pelo limite de  $UR \geq 87|70\%$  (Figura 12e), apresentaram apenas uma pequena subestimativa pelo limite  $UR \geq 87\%$  (Figura 12c).

Ao se observar a Figura 12, verifica-se que, quanto maior o valor utilizado do limite de  $UR$ , tanto maiores foram as subestimativas. Pode-se observar também que quanto maior o limite de  $UR$  maior a inclinação, dada pelo coeficiente angular  $b$ , da reta de regressão entre os valores de  $DPM$  observados e estimados. Esses resultados permitem concluir que as estimativas foram mais sistemáticas com os limites mais altos de  $UR$  medidos a 1,5 m, com a predominância de subestimativas nos valores baixos de  $DPM$ , conforme também foi verificado para as estimativas com os dados de  $UR$  medidos a 1,0 m de altura (Figura 11).

Na estimativa dos valores de  $DPM$  a partir dos valores de  $UR$  medidos a 1,5 m do solo sobre o cultivo de batata pode-se destacar negativamente o limite de  $UR \geq 90\%$ , que apresentou um desempenho insatisfatório, classificado como mau segundo o coeficiente de confiança  $c$ . Esse limite, que foi bastante difundido na estimativa dos valores de  $DPM$  por vários sistemas de alerta fitossanitários, pode ser considerado inadequado, por não considerar as diferenças de  $UR$  a 1,5 m em relação ao dossel de plantas, que resultam em subestimativa dos valores de  $DPM$ . Os resultados obtidos com os limites de  $UR \geq 85\%$  e  $UR \geq 87\%$  apresentaram um desempenho classificado como sofrível. As melhores estimativas de  $DPM$ , com valores de  $UR$  medidos a 1,5 m, foram obtidas com os limites de  $UR \geq 80\%$  e de



$UR \geq 87|70\%$ , sendo classificados como mediano e bom, respectivamente, segundo o coeficiente de confiança  $c$  (Tabela 5).

Num contexto geral, a partir da análise dos valores das estatísticas de avaliação das estimativas de  $DPM$  nas alturas de 0,1 m, 0,4 m, 1,0 m e de 1,5 m, foi verificada uma resposta diferenciada dos limites de  $UR$ , variável de acordo com a altura de medida da  $UR$  nas camadas de ar do perfil do cultivo de batata (Tabela 5). A partir da avaliação geral do  $\Sigma PO$  das estatísticas de avaliação, com os dados experimentais do ano de 2004 foi verificado que a melhor resposta foi obtida pelo limite de  $UR \geq 80\%$  (1° lugar), para valores de  $UR$  medidos acima do topo da cultura, a 0,4 m de altura do solo. Observa-se que a utilização do limite de  $UR \geq 80\%$  ficou restrita as camadas de ar mais próximas ao topo da cultura. O segundo e o terceiro lugares, de acordo com o  $\Sigma PO$  foi verificado para os limites de  $UR \geq 85\%$  e de  $UR \geq 87\%$ , medidos a 0,1 m do solo. Presume-se ainda, pelos valores das estatísticas de avaliação, que o limite de  $UR$  ideal, quando sua medida ocorre na altura de 0,1 m, está entre os limites de  $UR \geq 85\%$  e de  $UR \geq 87\%$ . Já o limite de  $UR \geq 87|70\%$ , apresentou suas melhores respostas quando  $UR$  foi medida na altura de 1,0 m (4° lugar) e de 1,5 m (5° lugar). O limite de  $UR \geq 90\%$  medida a 0,1 m apresentou um  $\Sigma PO$  igual aos limites de  $UR \geq 87|70\%$  medido a 0,4 m e de  $UR \geq 80\%$  medido a 1,0 m de altura, podendo os três serem enquadrados em 6° lugar pelo  $\Sigma PO$  das estatísticas.

Os resultados obtidos com o cultivo de batata realizado no outono de 2005 foram utilizados para testar a capacidade dos limites de  $UR$  na estimativa da  $DPM$  (Tabela 6 e Figura 13). Esses resultados permitem afirmar que o melhor desempenho, para os valores de  $UR$  medidos na altura de 0,1 m, foi obtido com o limite de  $UR \geq 90\%$ , seguido pelo limite de  $UR \geq 87\%$ , (Tabela 6), sendo, em parte, similares aos obtidos para a altura de 0,1 m nos cultivos de 2004 (Tabela 5). Entretanto, foi observado um desempenho superior do limite de  $UR \geq 85\%$  juntamente com o limite de  $UR \geq 87\%$  nos cultivos de 2004. Dessa forma, considerando os dados dos três experimentos, pode ser assumido que o limite de  $UR \geq 87\%$  foi adequado para a estimativa da  $DPM$  quando os valores de  $UR$  foram medidos a 0,1 m de altura do solo, no interior do dossel de plantas.

O resultado distinto entre os três experimentos, para os dados de  $UR$  medidos a 0,1 m de altura, ora com melhores estimativas com o limite de  $UR \geq 85\%$  e ora com o limite de  $UR \geq 90\%$ , conduz a dedução de que os cultivos de 2004 apresentaram dias mais secos se comparados com os dias do cultivo de 2005. Assim, pode-se afirmar que o valor do limite de  $UR$  variou com a condição ambiente no momento em que ocorreu a formação do orvalho, provavelmente devido a maior ou menor umidade na superfície do solo (Anexo IV). Na

Figura 9b pode-se observar que o limite fixo, medido a 0,1 m do solo, que melhor representa o molhamento foi o limite de  $UR \geq 85\%$ , nos cultivos de 2004. Já na Figura 13d, pode-se verificar que ocorreu superestimativa da *DPM* com o limite de  $UR \geq 90\%$ , medido a 0,1 m do solo, ou seja, o limite de *UR* mais próximo do valor de *UR* ideal para a estimativa da *DPM* no outono de 2005 deveria ser maior do que 90%. Logo, deduz-se que o cultivo de 2005 teve dias mais úmidos do que os cultivos no ano de 2004. A partir desses resultados infere-se que, independentemente da condição de tempo ser mais ou menos úmido, sob condição de baixa velocidade de vento e pouca nebulosidade, ao anoitecer ocorre perda de energia radiativa e conseqüentemente, ocorre a condensação de vapor de água sobre as folhas, sendo mais dependente da taxa de resfriamento do que do valor de *UR*.

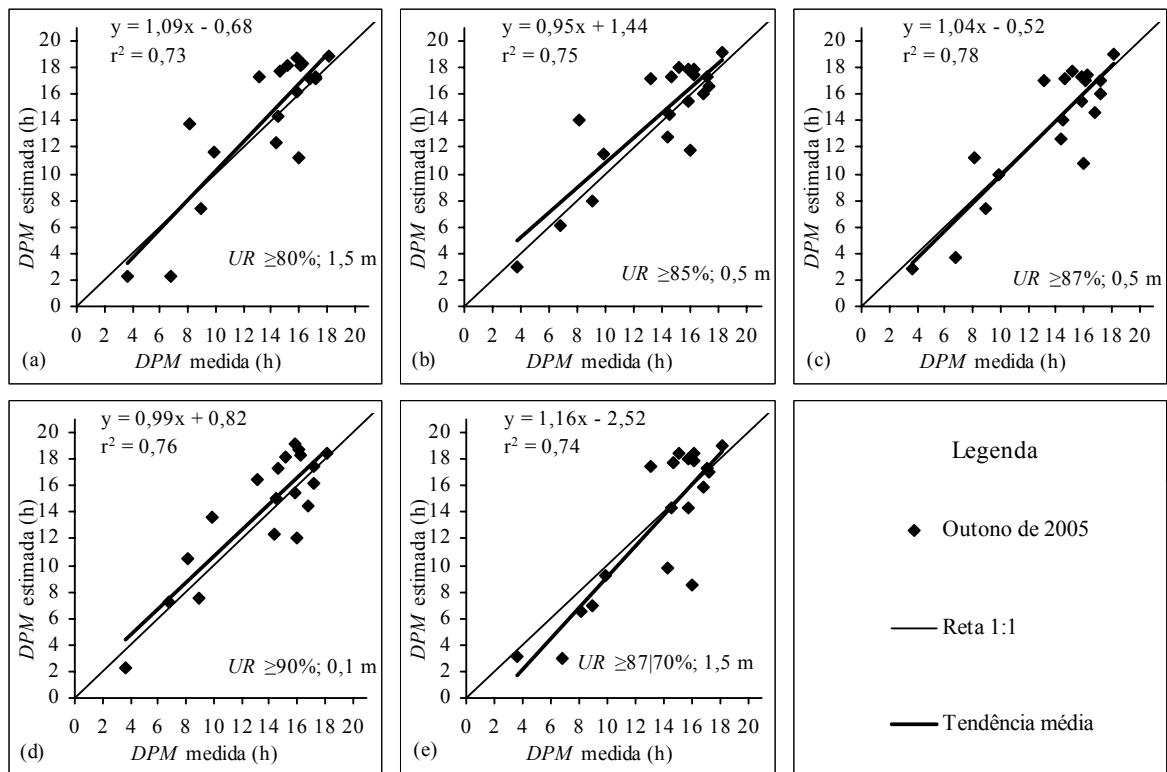
**Tabela 6** Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*) a partir de valores de umidade relativa do ar (*UR*) determinados em diferentes alturas num dossel de plantas de batata cultivado no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

<i>UR</i> (%)	alt. (m)	<i>DPM</i>		<i>RMSE</i>				$E_t = a + bO_t$					$\Sigma$ PO	
		$\bar{E}$ (h)	<i>DMN</i>	(h)	<i>s</i>	<i>ns</i>	<i>s</i> / <i>ns</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	p/alt.	Geral
$\geq 80$	0,1	18,32	-0,345	5,77	5,39	2,05	2,62	13,720	0,338	0,52	0,52	0,27	40	120
$\geq 85$	0,1	15,96	-0,171	3,31	2,53	2,14	1,18	5,660	0,756	0,77	0,82	0,64	24	96
$\geq 87$	0,1	15,18	-0,114	2,66	1,63	2,11	0,77	3,275	0,874	0,81	0,89	0,72	16	65
$\geq 90$	0,1	14,25	-0,046	2,30	0,63	2,21	0,29	0,820	0,986	0,82	0,92	0,76	8	23
$\geq 87 70^*$	0,1	16,39	-0,203	3,71	3,06	2,11	1,45	7,230	0,672	0,74	0,78	0,58	32	107
$\geq 80$	0,5	16,04	-0,178	3,27	2,54	2,05	1,24	5,105	0,803	0,80	0,84	0,67	40	91
$\geq 85$	0,5	14,32	-0,052	2,29	0,73	2,17	0,34	1,444	0,945	0,82	0,92	0,76	20	32
$\geq 87$	0,5	13,60	0,002	2,19	0,15	2,19	0,07	-0,524	1,037	0,84	0,93	0,78	10	11
$\geq 90$	0,5	12,54	0,080	2,68	1,23	2,38	0,52	-3,084	1,147	0,84	0,91	0,77	26	44
$\geq 87 70^*$	0,5	14,68	-0,077	2,61	1,06	2,39	0,44	1,346	0,978	0,81	0,90	0,73	24	46
$\geq 80$	1,5	14,23	-0,044	2,72	0,71	2,62	0,27	-0,681	1,094	0,81	0,91	0,74	13	38
$\geq 85$	1,5	12,55	0,079	3,05	1,32	2,75	0,48	-3,740	1,196	0,82	0,89	0,73	24	63
$\geq 87$	1,5	11,84	0,131	3,65	1,94	3,09	0,63	-4,375	1,190	0,79	0,86	0,68	32	82
$\geq 90$	1,5	10,49	0,230	4,91	3,17	3,76	0,84	-4,713	1,116	0,72	0,77	0,56	37	98
$\geq 87 70^*$	1,5	13,32	0,023	2,85	0,72	2,76	0,26	-2,518	1,162	0,81	0,91	0,74	14	44

*DPM* ( $\bar{E}$ ) = média dos valores estimados da duração do período de molhamento; *DMN* = diferença média normalizada; *RMSE* = raiz quadrada do quadrado médio do erro e suas parcelas de erros sistemáticos (*s*) e não sistemáticos (*ns*); *a* e *b* = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_t$ ) e estimados ( $E_t$ ); *r*, *d* e *c* = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança;  $\Sigma$  PO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos limites de *UR* utilizados nas estimativas da *DPM* por altura (p/alt.) e entre todas as alturas (geral). \*Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%.

Dessa forma, para o cultivo de 2005 ocorreu a predominância de dias úmidos, logo, a condensação do vapor ocorreu com valores de *UR* mais altos, sendo obtidas as melhores estimativas da *DPM* com os valores altos de *UR* medida a 0,1 m e a 0,5 m. Já os dados dos cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, geralmente foram obtidos em períodos

mais secos, sendo as melhores respostas na estimativa da *DPM* obtidas com os valores de *UR* de 85% e de 87%, para os valores de *UR* medidos na altura de 0,1 m.



**Figura 13** Duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*) detectada por sensores de molhamento e pela estimativa a partir dos valores dos limites de umidade relativa do ar (*UR*)  $\geq 80\%$ ,  $\geq 85\%$  e  $\geq 87\%$ ,  $\geq 90\%$  e  $\geq 87|70\%^*$ , medidos a 1,5 m, 0,5 m, 0,5 m, 0,1 m e a 1,5 m de altura do solo, respectivamente, no perfil do ar do cultivo de plantas de batata, realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS. \* Considerou-se início do molhamento e término da secagem os momentos em que, em 30 minutos, ocorreu um acréscimo  $\geq 3\%$  e um decréscimo  $> 2\%$  na *UR*, respectivamente, quando os valores de *UR* estavam entre 70% e 87%.

A partir da análise dos valores das estatísticas de avaliação da estimativa da *DPM* com os valores de *UR* medidos a altura de 0,5 m do solo, observou-se que a pior resposta foi obtida com o limite de *UR*  $\geq 80\%$  (Tabela 6). Esse resultado foi bastante controverso ao resultado obtido na avaliação da estimativa da *DPM* para o ano de 2004, em que o limite de *UR*  $\geq 80\%$  apresentou os melhores valores no conjunto de estatísticas avaliadas. Em se tratando da estimativa da *DPM* do cultivo de 2005, a partir de dados de *UR* medidos logo acima do dossel vegetativo, a 0,5 m de altura, esperava-se que os resultados fossem similares às estimativas da *DPM* obtidas nos cultivos de 2004 com medidas de *UR* a 0,4 m de altura do solo. Provavelmente isso não ocorreu devido ao fato de que o cultivo de 2005 foi realizado em

um período bastante úmido. Dessa forma, a camada de ar a 0,5 m do solo no cultivo de 2005, apresentou os valores das estatísticas da avaliação das estimativas da *DPM* muito parecidos com a camada de ar próximo do solo, a 0,1 m de altura, do ano de 2004. Isso evidencia o quanto foi úmido o período do cultivo de 2005.

Considerando o teste da estimativa da *DPM* a partir dos diferentes limites de *UR* medida acima do dossel de plantas, na altura de 0,4 a 0,5 m do solo, pode-se afirmar que os resultados foram insatisfatórios e pouco consistentes. As estimativas apresentaram variações elevadas entre os limites de *UR*, sendo a sua utilização dependente de investigações adicionais mais detalhadas.

Os valores de *DPM* estimados com os limites de *UR* medida na altura de 1,5 m acima do solo podem ser considerados os de menor variabilidade dentre as alturas analisadas. As respostas dos limites de *UR*, medida nessa altura, foram similares para os cultivos de 2004 e o cultivo de 2005 (Tabelas 5 e 6). Esse fato é importante para que se possa indicar a altura de medida da *UR* no perfil do dossel em que se podem obter estimativas da *DPM* com relativa segurança.

Dentre os limites avaliados o limite de  $UR \geq 87|70\%$  pode ser indicado como o mais adequado para a estimativa da *DPM*, sendo utilizado com os valores de *UR* medidos na altura de 1,5 m. Os resultados do limite de  $UR \geq 87|70\%$  no cultivo no outono de 2005 (Tabela 6 e Figura 13) permitem classificar o desempenho desse limite como bom, segundo o coeficiente de confiança *c*. Esse resultado foi bastante coerente com o resultado obtido nos cultivos do ano de 2004. Além do limite de  $UR \geq 87|70\%$ , o limite de  $UR \geq 80\%$  também apresentou um desempenho que pode ser classificado como bom, obtido com os seus valores de *UR* medidos na altura de 1,5 m, para o cultivo no outono de 2005.

#### **4.3 Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho através da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho e do déficit da pressão de vapor do ar**

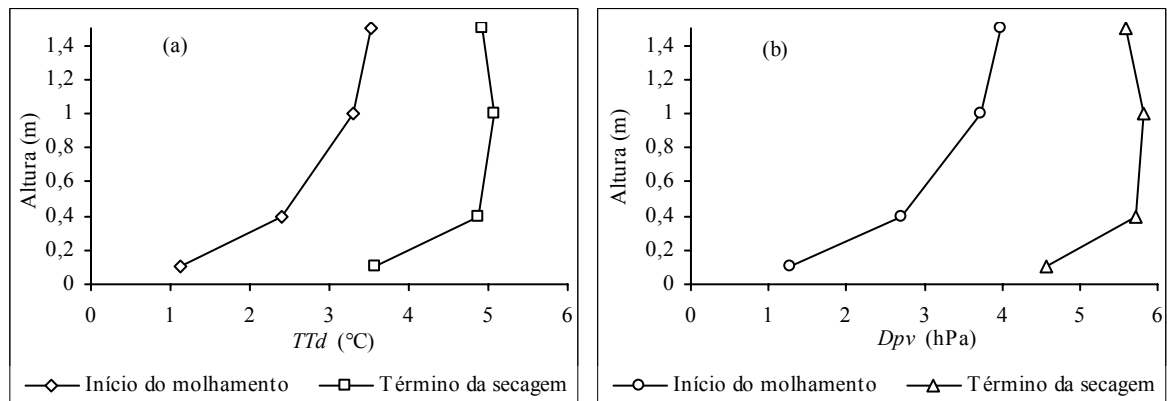
Os valores da diferença entre temperatura e temperatura do ponto de orvalho do ar (*TTd*) possuem potencial para a utilização na estimativa da *DPM* dos cultivos, podendo ser inclusive aplicados em locais e condições ambientais diferentes (GLEASON et al., 1994, SENTELHAS et al., 2004c). Já o déficit de saturação de vapor do ar (*Dpv*) tem poucos relatos

de sua utilização nas estimativas da *DPM* dos cultivos agrícolas. Dessa forma, a partir dos resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8 e nas Figuras 14, 15, 16 e 17, procurou-se avaliar o desempenho da utilização dessas variáveis, quando medidas dentro e acima do dossel vegetativo, na estimativa dos valores de *DPM* dos cultivos de batata.

Nas estimativas dos valores de *DPM* com a utilização das variáveis *TTd* e *Dpv*, foram selecionados valores limites que serviram para identificar o momento do início do molhamento e do término da secagem. Os valores limites foram selecionados para as diferentes alturas do perfil do ar com base nos dados do cultivo realizado na primavera de 2004. A partir dos dados de *TTd* e de *Dpv*, na altura de 0,1 m no interior do dossel, foram obtidos os valores médios de 1,1°C e 1,3 hPa, para o momento do início da formação de orvalho, respectivamente. Já acima do dossel, foram verificados os valores de 2,4°C e 4,9 hPa, de 3,3°C e 5,1 hPa, e de 3,5°C e 4,9 hPa, para as variáveis *TTd* e *Dpv* nas alturas de 0,4 m, 1,0 m e 1,5 m, respectivamente. A partir desses valores foi verificado que o incremento nos valores da *TTd* e do *Dpv*, da altura de 0,1 m para 0,4 m, foi similar ao incremento entre as alturas de 0,4 m e 1,5 m. Com base nesses resultados foi assumido que ocorre uma oscilação pequena entre os valores da *TTd* e do *Dpv* nas camadas de ar acima do dossel vegetativo. Em contrapartida, foi possível a verificação de condições distintas entre as camadas de ar do interior do dossel e acima do topo do dossel de plantas, sendo necessário adotar valores diferentes de *TTd* e de *Dpv* para as camadas de ar no interior e acima do topo do dossel para a determinação do início do molhamento. Dessa forma, para os dados medidos a 0,1 m de altura do solo, foram adotados os valores médios de *TTd* <1,1°C e de *Dpv* <1,3 hPa como limite. Para a utilização dos dados determinados a qualquer altura acima do topo do dossel vegetativo, foram utilizados os valores médios de *TTd* <3,1°C e de *Dpv* <3,5 hPa como limites a partir dos quais ocorreu o início e o acúmulo do tempo de molhamento foliar.

Os valores de *TTd* e de *Dpv* apresentaram menor flutuação, nas camadas de ar acima do dossel vegetativo, para o momento do término da secagem do que do início do molhamento foliar (Figura 14). Esse fato, provavelmente ocorreu devido a crescente densidade de fluxo de radiação incidente e a maior velocidade do vento que causou a mistura das camadas de ar sobre o topo do dossel. Assim, foi observado que, de forma semelhante ao momento do início do molhamento, a camada de ar do interior do dossel apresentou valores médios de *TTd* e de *Dpv* inferiores aos observados sobre o topo do dossel. A diferença entre as camadas acima do topo e a camada de ar no interior do dossel foi de cerca de 1,3°C e de 1,1 hPa, para a *TTd* e o *Dpv*, respectivamente. Assim, optou-se pela utilização de valores diferentes para as camadas de ar do interior do dossel e acima do topo do dossel, na

determinação do término da secagem da folhagem da batata. Para a camada de ar do interior do dossel de plantas, a 0,1 m de altura do solo, foram adotados os valores de  $TTd < 3,6^{\circ}\text{C}$  e de  $Dpv < 4,6 \text{ hPa}$ , como limites para o término da secagem das folhas. Para as demais camadas de ar, nas alturas de 0,4 m, 1,0 m e 1,5 m, foram adotados como limites os valores de  $TTd < 4,9^{\circ}\text{C}$  e de  $Dpv < 5,7 \text{ hPa}$ , na estimativa do término da secagem da folhagem da batata.

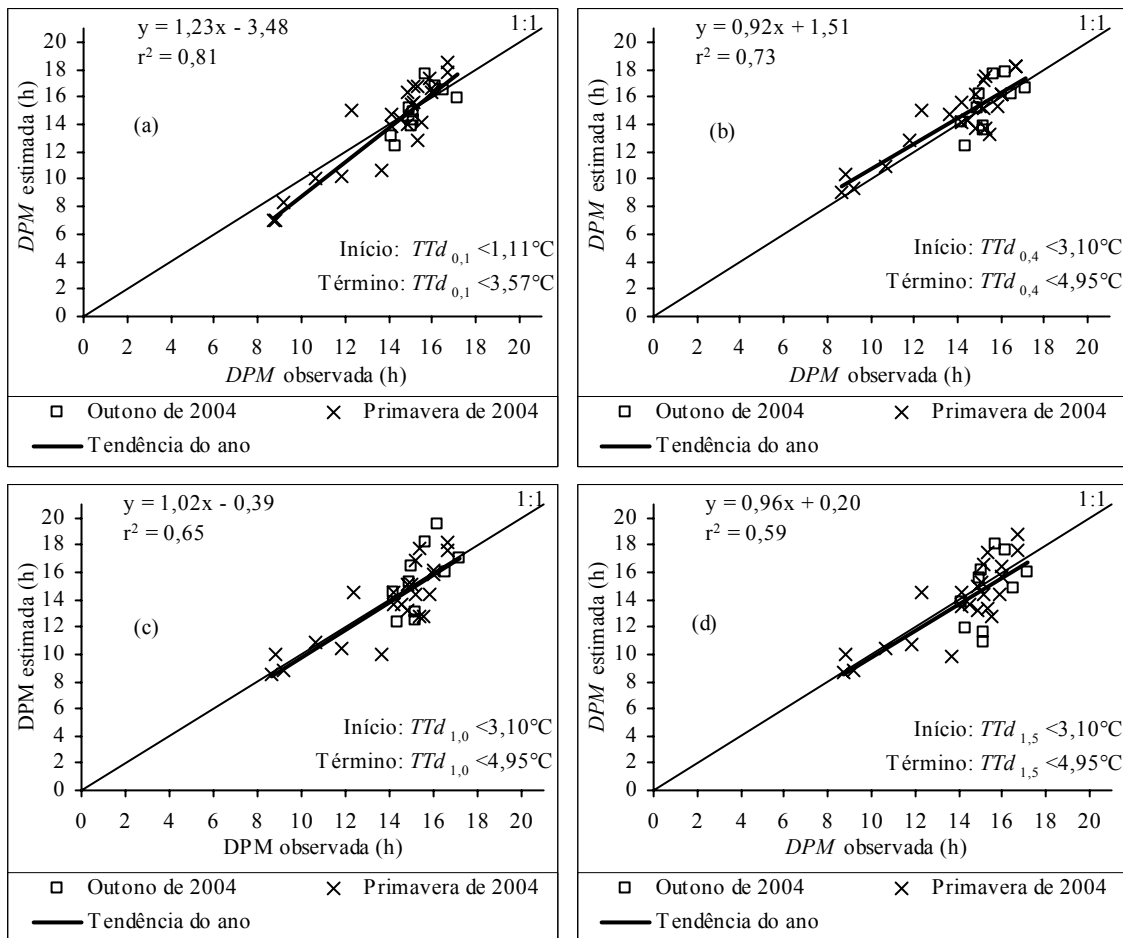


**Figura 14** Média da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar ( $TTd$ ; a) e média do déficit da pressão de vapor ( $Dpv$ ; b), nas alturas de 0,1 m, 0,4 m, 1,0 m e 1,5 m, no início do molhamento e no término da secagem das folhas determinado por observação visual, em um cultivo de batata realizado na primavera de 2004, em Santa Maria-RS.

Após a definição dos valores limiares para as variáveis  $TTd$  e  $Dpv$ , foram obtidas estimativas da  $DPM$  para os cultivos realizados no outono e na primavera de 2004, cujos resultados são apresentados nas Figuras 15 e 16, sendo os valores das estatísticas de avaliação do desempenho das variáveis  $TTd$  e  $Dpv$  na estimativa da  $DPM$  apresentados na Tabela 7.

A partir da fixação prévia dos limites para a variável  $TTd$ , os quais corresponderam ao início do molhamento e ao término da secagem, foi possível a avaliação da resposta dessa variável meteorológica em função da altura de sua medida. Dessa forma, a partir dos limites de  $TTd$ , foi verificado que a tendência média das estimativas da  $DPM$  foi próxima da reta 1:1, traçada para valores observados e estimados hipoteticamente iguais (Figura 15). Esse resultado pode ser verificado, ainda, com base nos valores baixos da  $DMN$ , os quais representam as pequenas tendências de subestimativas ocorridas quando foram utilizados os valores de  $TTd$  medida a 0,1 m ( $TTd_{0,1}$ ), a 1,0 m ( $TTd_{1,0}$ ) e a 1,5 m ( $TTd_{1,5}$ ) de altura do solo e de superestimativas quando medida a 0,4 m de altura do solo ( $TTd_{0,4}$ ) (Tabela 7). Esses resultados servem como indicativo de que os limites da variável  $TTd$ , inicialmente selecionados com os dados de apenas um experimento, foram adequados para a estimativa da

*DPM*, nas diferentes alturas. Os valores obtidos do coeficiente *d* foram entre 0,86 e 0,93 e podem ser considerados altos. Tem-se assim o indicativo da aproximação dos valores das estimativas em relação aos valores observados de *DPM* (Tabela 7). Destacam-se os resultados obtidos com valores de *TTd* medidos a 0,1 e 0,4 m de altura, pelo valor elevado de acurácia segundo o coeficiente de exatidão.



**Figura 15** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por observação visual e estimada pela utilização da diferença (*TTd*) obtida entre a temperatura ( $T_{ar}$ ) e a temperatura do ponto de orvalho ( $Td$ ) do ar, nos níveis 0,1 m (a), 0,4 m (b), 1,0 m (c) e 1,5 m (d) de altura, nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS.

Apesar da seleção dos limites da *TTd* ter favorecido a obtenção de valores de estimativa, em média, próximos dos valores observados, ocorreu uma dispersão diferenciada dos valores na relação entre valores observados e estimados para as quatro alturas de determinação da *TTd*. Dessa forma, foi verificada uma maior dispersão dos pontos com o aumento da altura das medidas da *TTd*. Os melhores valores de precisão ( $r=0,87$ ) e de ajuste ( $r^2=0,81$ ) dos dados foram obtidos para a altura de 0,1 m acima do solo, no interior do dossel

vegetativo (Tabela 7; Figura 15a). Isso pode ser observado na distribuição dos valores de *DPM* em torno da reta 1:1, tanto do primeiro cultivo, quanto do segundo cultivo de 2004. Os piores valores de precisão e de ajuste ocorreram com os valores de  $TTd_{1,5}$ . Provavelmente, essa maior dispersão ocorreu devido a interferência maior das variações das condições ambientais sobre os valores da *TTd* na altura de 1,5 m, principalmente no que se refere ao transporte de ar e suas propriedades, se comparada com a interferência nas alturas de 0,1 m e de 0,4 m. Assim, quanto mais próximo do dossel vegetativo, menor a interferência das variações ambientais externas ao cultivo, e, em consequência, mais precisas foram as estimativas da *DPM* a partir da *TTd*.

**Tabela 7** Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*) a partir dos valores da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar (*TTd*, em °C) e dos valores de déficit de pressão de vapor d'água no ar (*Dpv*, em hPa), medidos no interior e em diferentes alturas acima de dois cultivos de batata no ano de 2004, em Santa Maria-RS.

Variável	altura (m)	<i>DPM</i> $\bar{E}$ (h)	<i>DMN</i>	<i>RMSE</i>				$E_i = a + bO_i$					$\Sigma PO$
				(h)	<i>s</i>	<i>ns</i>	$s \div ns$	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	
<i>TTd</i>	0,1	14,26	0,009	1,39	0,52	1,29	0,41	-3,479	1,233	0,87	0,93	0,81	18
<i>TTd</i>	0,4	14,72	-0,024	1,29	0,38	1,24	0,31	1,507	0,919	0,83	0,92	0,76	18
<i>TTd</i>	1,0	14,25	0,009	1,65	0,14	1,65	0,08	-0,393	1,018	0,78	0,88	0,69	17
<i>TTd</i>	1,5	14,01	0,026	1,78	0,39	1,74	0,22	0,202	0,960	0,75	0,86	0,64	24
<i>Dpv</i>	0,1	14,17	0,015	1,41	0,38	1,35	0,28	-2,318	1,147	0,85	0,92	0,78	12
<i>Dpv</i>	0,4	14,48	-0,007	1,47	0,43	1,41	0,31	2,851	0,809	0,76	0,88	0,67	19
<i>Dpv</i>	1,0	13,98	0,028	1,84	0,50	1,77	0,28	1,586	0,862	0,71	0,84	0,60	18
<i>Dpv</i>	1,5	13,84	0,038	2,02	0,65	1,92	0,34	1,756	0,840	0,67	0,81	0,54	28

*DPM*  $\bar{E}$  = média dos valores estimados da duração do período de molhamento por orvalho; *DMN* = diferença média normalizada; *RMSE* = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos (*s*) e não sistemáticos (*ns*); *a* e *b* = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_i$ ) e estimados ( $E_i$ ); *r*, *d* e *c* = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança;  $\Sigma PO$  = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos limites de *TTd* e *Dpv* utilizados nas estimativas da *DPM* nas diferentes alturas.

Embora alguns dos valores das estatísticas utilizados na avaliação dos valores de *TTd* tenham favorecido os valores da  $TTd_{0,1}$  e da  $TTd_{0,4}$ , foi verificado que o valor de  $TTd_{1,0}$  foi o que apresentou os melhores valores para a *DMN*, para a razão  $s \div ns$  e para os coeficientes *a* e *b* da relação entre os valores observados e estimados, sendo seguido pelos valores de  $TTd_{1,5}$ . Essa melhor resposta dos valores de  $TTd_{1,5}$ , está associada a uma grande dispersão dos valores da *DPM* estimada em relação aos observados, o que não é satisfatório. No entanto, verificou-se uma reta de tendência com sobreposição ao longo da linha 1:1. Resultado semelhante na estimativa de *DPM* com a *TTd*, também foi verificado em outro local em um cultivo de



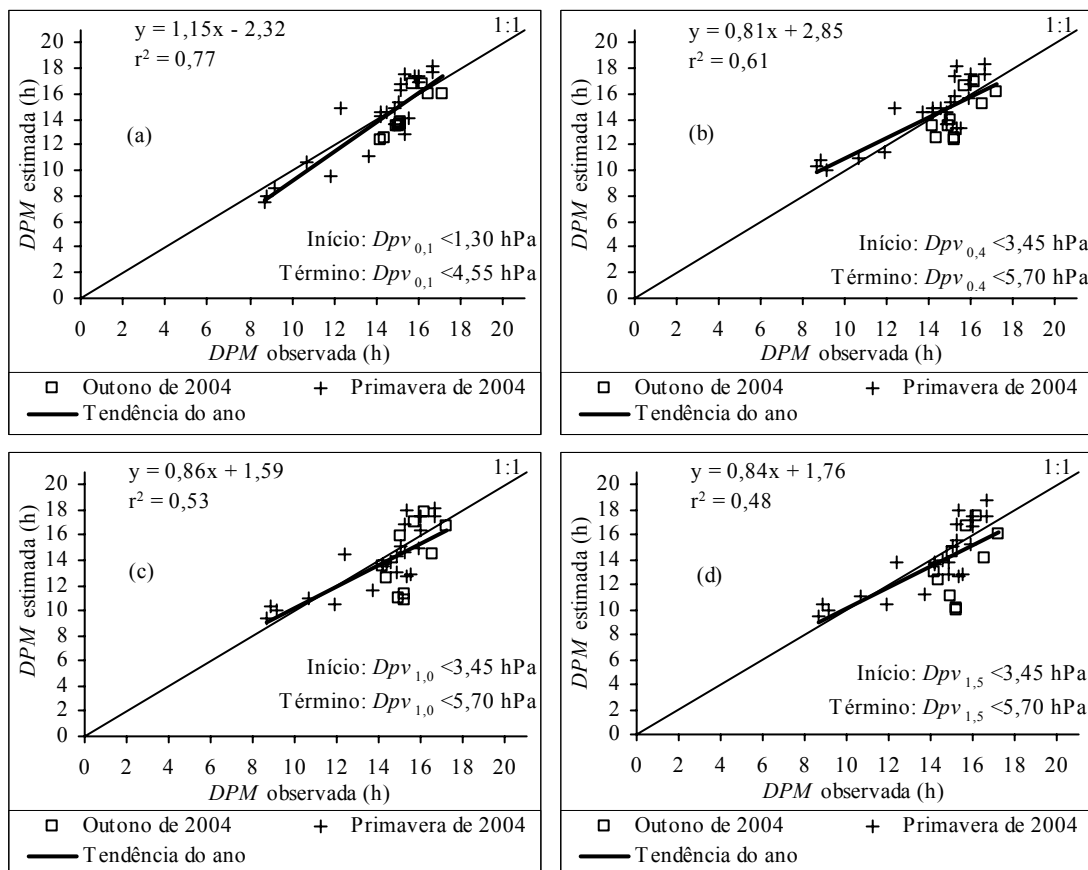
algodão, por Sentelhas et al. (2004c), sendo interpretado de forma diferente por esses autores. Quando compararam diferentes métodos para a estimativa da *DPM*, na ocasião dispo de valores entre zero e 24 h, obtiveram um coeficiente de ajuste dos dados ( $r^2$ ) de 0,78 para as estimativas realizadas a partir da *TTd* medida a 1,7 m de altura do solo, o qual foi considerado bom, embora a reta de regressão tenha sido obtida sem o coeficiente linear, o que mascara essa estatística. Dessa forma, pode-se assumir que as estimativas da *DPM*, quando se dispõe de dados de *TTd* medidos a 1,5 m do solo sobre a cultura, pode ser uma alternativa viável, porém menos precisa.

A partir dos resultados da análise de regressão entre valores observados e estimados de *DPM* (Figura 15), pode-se inferir que a cobertura vegetal tem efeito favorável à manutenção da uniformidade do ambiente na camada de ar a 0,1 m de altura do solo, ou seja, o ar nessa camada responde com flutuações pequenas na *TTd*. O efeito de menor oscilação também foi mais acentuado na camada de ar a 0,4 m do solo, pela influência da disponibilidade de umidade na camada superficial do solo, uma vez que dela tem origem grande parte do vapor d'água que se condensa como orvalho sobre as folhas, fenômeno este denominado “destilação” por Monteith (1957). Além disso, as variações de *TTd* são uma consequência direta do balanço de energia das folhas mais expostas ao saldo de radiação no terço superior do dossel de plantas (HELDWEIN, 1993). Portanto, provavelmente, foi por isso que nas camadas de ar a 0,1 m e a 0,4 m de altura, o valor da *TTd* medido apresentou a melhor associação com os valores da *DPM*, uma vez que as condições da  $T_{ar}$  e da  $T_d$  são um reflexo da temperatura das folhas adjacentes expostas. Assim, os valores da *TTd* nas camadas de ar de 0,1 m e de 0,4 m apresentaram os melhores resultados se comparados com os valores de *TTd* medidos nas alturas de 1,0 e 1,5 m acima do solo.

O desempenho dos valores de *TTd*, medidos a 0,1 m e a 0,4 m de altura do solo, na estimativa da *DPM* da cultura da batata foi classificado como muito bom, de acordo com o coeficiente de confiança ( $c$ ), sendo observada semelhança no  $\Sigma PO$  das estatísticas das estimativas pelos valores de  $TTd_{0,1}$  e de  $TTd_{0,4}$ . Esses resultados podem ser tomados como indicativos de que os valores de *TTd* medidos a 0,1 m e a 0,4 m de altura do solo, são os mais indicados para a estimativa da *DPM* da cultura da batata. As estimativas pela  $TTd_{1,0}$  tiveram o menor  $\Sigma PO$  das estatísticas, apresentando um desempenho classificado como bom, enquanto que as estimativas da *DPM* pelos valores de  $TTd_{1,5}$  apresentaram um desempenho classificado como mediano, segundo a classificação do coeficiente de confiança.

A utilização de valores de  $Dpv$  diferentes, nas camadas de ar do interior e dos níveis acima do topo do dossel de plantas, foi tão adequada quanto a adoção dos limites diferentes

para os valores de *TTd*. A adoção de limites adequados, para as alturas de 0,1 m e acima do topo do dossel, pode ser verificada pela proximidade entre a reta de tendência média e a linha 1:1. Entretanto, os valores das estimativas da *DPM* apresentaram maior dispersão para os valores do *Dpv* medidos acima do topo da cultura, do que pelos valores da *TTd*. Esse resultado pode ser verificado principalmente pelo coeficiente de ajuste dos dados (Figura 16).



**Figura 16** Duração do período de molhamento (*DPM*) determinada por observação visual e estimada com valores de déficit de pressão de vapor do ar (*Dpv*), nos níveis 0,1 m (a), 0,4 m (b), 1,0 m (c) e 1,5 m (d) de altura, nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS.

O melhor desempenho dos valores de *Dpv* na estimativa da *DPM* da cultura da batata foi verificado com valores medidos a 0,1 m de altura do solo ( $Dpv_{0,1}$ ). A estimativa obtida pelos valores de  $Dpv_{0,1}$  apresentou precisão ( $r$ ) e ajuste ( $r^2$ ) próximos dos valores obtidos para o desempenho dos valores de *TTd* para essa altura (Tabela 7; Figuras 15 e 16). Para as demais alturas de medição dos valores de *Dpv*, o desempenho diferiu daquele verificado com os valores de *TTd* dos demais níveis, sendo pior com o aumento da altura da determinação dos valores de *Dpv*. Na avaliação das estimativas de *DPM*, somente os valores de  $Dpv_{0,1}$  foram

classificados com um desempenho muito bom, de acordo com o coeficiente de confiança. O desempenho com os valores de  $Dpv_{0,4}$  foi classificado como bom, enquanto os desempenhos obtidos com os valores do  $Dpv_{1,0}$  e do  $Dpv_{1,5}$  foram classificados como sofríveis, de acordo com coeficiente de confiança  $c$ .

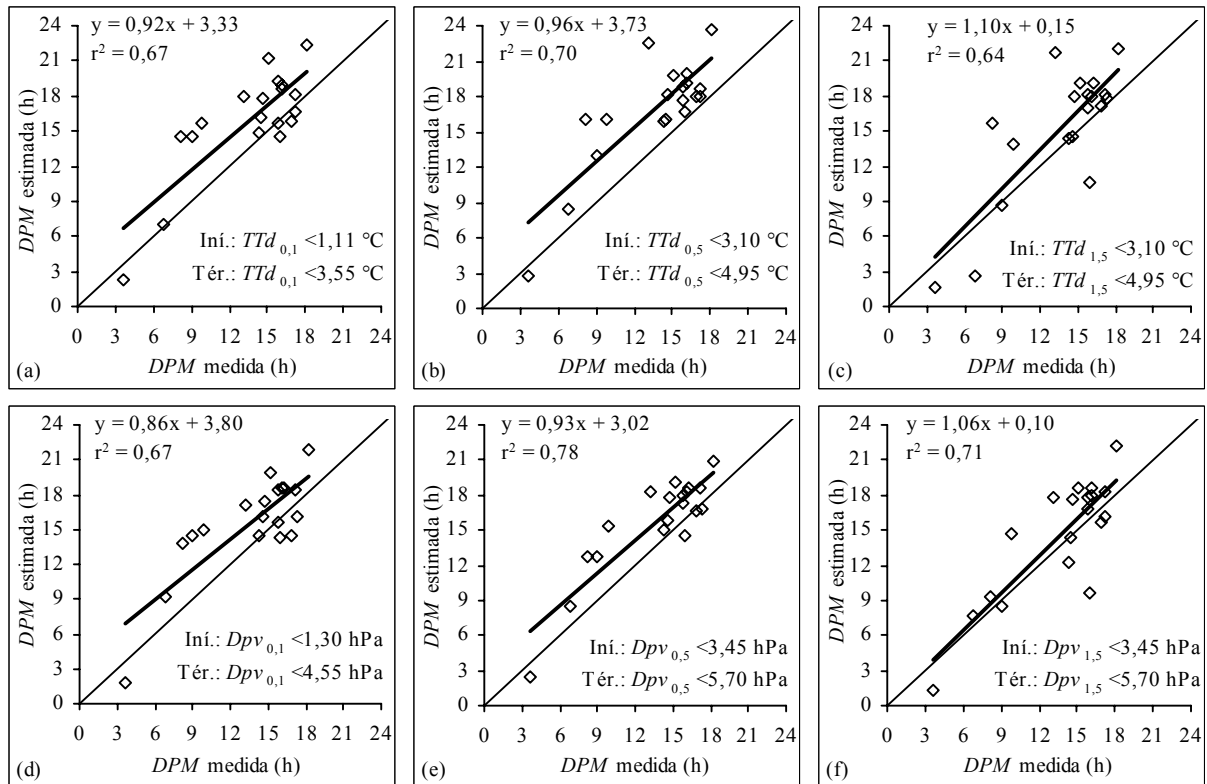
A partir da comparação dos desempenhos das estimativas da  $DPM$  pode-se verificar que as estimativas com os dados de  $Dpv$  foram menos precisas do que as estimativas obtidas com os dados de  $TTd$ . Esse fato ocorreu em resposta à dependência dos valores do  $Dpv$  a pressão de vapor nas diferentes alturas, se comparada aos valores da  $TTd$  que, além da pressão de vapor, ainda respondem mais diretamente a temperatura do ar. O vapor d'água, que se forma no interior do dossel e próximo do solo, tem sua distribuição para as camadas acima do dossel por difusão e sofre interferências das flutuações de movimento das massas de ar relacionadas às camadas do perfil acima do topo da cultura. Dessa forma, com a dispersão do vapor maior nas camadas mais altas do ar no perfil, ocorreram estimativas de  $DPM$  com menores coeficientes de ajuste com os dados de  $Dpv$  determinado acima do dossel das plantas, do que para as estimativas a partir de valores de  $Dpv$  do interior do dossel de plantas.

De acordo com os resultados gerais do  $\Sigma$  PO das estatísticas de avaliação (Tabela 7) obtidos nos cultivos do ano de 2004, foi verificado que a variável  $TTd$  medida a 0,1 m e a 0,4 m de altura e a variável  $Dpv$  medida a 0,1 m de altura, possuem um potencial elevado para serem utilizadas na estimativa da  $DPM$  em dosséis de plantas de batata.

O desempenho da utilização das variáveis  $TTd$  e  $Dpv$ , medidas a altura de 1,5 m do solo, não resultou em estimativas da  $DPM$  com elevada precisão. No entanto, foi verificado que, os valores do coeficiente  $d$  foram de 0,86 e de 0,81 para as estimativas da  $DPM$  pelos valores da  $TTd_{1,5}$  e do  $Dpv_{1,5}$ , respectivamente. Essas duas estatísticas indicam que pode ocorrer uma maior dispersão dos valores em relação a reta de regressão, mas os desvios em relação a linha 1:1 foram menores, ou seja, provavelmente se os valores de  $TTd_{1,5}$  e de  $Dpv_{1,5}$  forem utilizados para a estimativa da  $DPM$ , as suas estimativas apresentarão maiores valores de acurácia do que de precisão.

Na Figura 17 são apresentados os resultados obtidos a partir do teste realizado com os dados obtidos num cultivo realizado no outono de 2005, para a verificação do desempenho dos valores de  $TTd$  e de  $Dpv$  na estimativa da  $DPM$  na cultura da batata. Verificaram-se, a partir dos resultados que ocorreu a predominância de superestimativa da  $DPM$  com a utilização dos valores de  $TTd$  e de  $Dpv$ , para o cultivo de 2005. Essa superestimativa, provavelmente ocorreu em função de que o período de experimentação com o cultivo de 2005, foi caracterizado por altos valores de  $UR$ , conforme discutido no item que tratou da

utilização dos valores de  $UR$  na estimativa da  $DPM$  dos cultivos de batata. As superestimativas foram significativas nas alturas de 0,1 m e de 0,5 m. Assim, a partir dos resultados nesses níveis, pode-se inferir que, provavelmente, ocorreria uma maior aproximação dos valores estimados aos valores medidos se fossem utilizados os limites de  $TTd_{0,1}$  ( $1,1^{\circ}\text{C}$  e  $3,6^{\circ}\text{C}$ ) e de  $Dpv_{0,1}$  ( $1,3\text{ hPa}$  e  $4,6\text{ hPa}$ ), os quais foram selecionados no ano de 2004 para a altura de 0,1 m, como limites para a altura de 0,5 m no cultivo de 2005.



**Figura 17** Duração do período de molhamento ( $DPM$ ) medida pela utilização de sensores de molhamento foliar e estimada pela diferença ( $TTd$ ) entre a temperatura ( $T_{ar}$ ) e a temperatura do ponto de orvalho ( $Td$ ) do ar e pelo déficit de pressão de vapor do ar ( $Dpv$ ), nos níveis 0,1 m (a, d), 0,5 m (b, e) e 1,5 m (c, f) de altura, em cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

A partir das Figuras 17a, 17b e 17c, juntamente com os valores das estatísticas apresentados na Tabela 8, foi verificado que as estimativas obtidas pelos valores da  $TTd_{0,1}$ , apresentaram uma diminuição significativa nos seus coeficientes  $r$ ,  $d$  e  $c$  ao serem comparados com os coeficientes obtidos para 2004 (Tabela 7). No entanto, o desempenho dos valores da  $TTd_{0,1}$  foi classificado como mediano, sendo bastante próximo da classificação de desempenho bom, de acordo com o coeficiente de confiança  $c$ . Esse resultado confirmou em parte o resultado verificado no ano de 2004 com os valores de  $TTd_{0,1}$ .

Apesar de se observar grandes desvios de algumas estimativas obtidas pelos valores de  $TTd_{1,5}$ , em relação a  $DPM$  observada, pode-se ressaltar que as estimativas com os valores da  $TTd_{1,5}$  apresentaram os menores decréscimos dos coeficientes  $r$ ,  $d$  e  $c$  se comparados aos valores obtidos nos cultivos do ano de 2004. Ainda pode-se destacar que as estimativas dos valores de  $TTd_{1,5}$  apresentaram os valores mais próximos de zero para a  $DMN$ , a razão entre o erro sistemático e não sistemático ( $s \div ns$ ) e para o coeficiente  $a$  da equação linear da tendência média dos valores observados e estimados, no cultivo do outono de 2005. Tais resultados foram similares aos obtidos com os cultivos realizados no ano de 2004. Esse fato evidencia que as estimativas da  $DPM$  obtidas pelos valores de  $TTd_{1,5}$ , apesar de apresentarem os menores valores de precisão, se destacaram por apresentar consistência na estimativa da  $DPM$  em diferentes cultivos e condições ambientais.

**Tabela 8** Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho ( $DPM$ ) a partir dos valores da diferença entre a temperatura e a temperatura do ponto de orvalho do ar ( $TTd$ , em °C) e dos valores de déficit de pressão de vapor d'água no ar ( $Dpv$ , em hPa), medidos em diferentes alturas no interior de um cultivo de plantas de batata, no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

Variável	altura (m)	$DPM$		$RMSE$				$E_t = a + bO_t$					$\Sigma PO$	
		$\bar{E}$ (h)	$DMN$	(h)	$s$	$ns$	$s \div ns$	$a$	$b$	$r$	$d$	$c$	p/var.	geral
$TTd$	0,1	15,90	-0,167	3,45	2,30	2,58	0,89	3,331	0,923	0,78	0,84	0,65	14	35
$TTd$	0,5	16,81	-0,234	4,07	3,19	2,53	1,26	3,731	0,960	0,79	0,80	0,63	20	41
$TTd$	1,5	15,18	-0,114	3,67	1,61	3,31	0,49	0,153	1,103	0,76	0,85	0,64	14	34
$Dpv$	0,1	15,56	-0,142	3,14	2,01	2,41	0,84	3,800	0,863	0,78	0,85	0,66	21	36
$Dpv$	0,5	15,67	-0,150	2,83	2,06	1,94	1,06	3,016	0,929	0,84	0,88	0,74	15	25
$Dpv$	1,5	14,50	-0,064	2,84	0,91	2,69	0,34	0,103	1,057	0,80	0,90	0,72	10	18

$DPM \bar{E}$  = média dos valores estimados da duração do período de molhamento por orvalho;  $DMN$  = diferença média normalizada;  $RMSE$  = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos ( $s$ ) e não sistemáticos ( $ns$ );  $a$  e  $b$  = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_t$ ) e estimados ( $E_t$ );  $r$ ,  $d$  e  $c$  = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança;  $\Sigma PO$  = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos limites das variáveis  $TTd$  e  $Dpv$  utilizados nas estimativas da  $DPM$ , apresentado por variável (p/var.) e entre os limites das variáveis nas diferentes alturas (geral).

O desempenho das estimativas da  $DPM$ , obtidas com os valores do  $Dpv_{0,1}$ , no cultivo no outono de 2005 foi inferior aos resultados verificados para os cultivos no ano de 2004. As estimativas obtidas pelos valores de  $Dpv_{0,1}$  apresentaram o maior  $RMSE$  entre as estimativas pelos valores de  $Dpv$ , no cultivo de 2005. Além disso, as estimativas a partir dos valores de  $Dpv_{0,1}$  ainda apresentaram os menores valores dos coeficientes  $r$ ,  $d$  e  $c$ . Já as estimativas obtidas a partir dos valores de  $Dpv_{1,5}$  apresentaram o melhor conjunto de valores das estatísticas de avaliação das estimativas obtidas nas alturas de 0,1 m, 0,5 m e 1,5 m. Esses

resultados foram contraditórios aos resultados verificados nos cultivos do ano de 2004. Esse fato pode ser atribuído aos altos valores de *UR* verificados no cultivo de 2005 e que, provavelmente, também interferiram nas estimativas da *DPM* pelos valores do  $Dpv_{0,5}$ . A observação da superestimativa da *DPM* pelos valores de  $Dpv_{0,5}$  permite que seja inferido que as estimativas com as medições a 0,5 m de altura seriam melhores a partir dos valores limiares utilizados no  $Dpv_{0,1}$ , de forma similar ao observado com os valores de *TTd*.

A partir dos resultados observados para as estimativas da *DPM* deduz-se que, provavelmente na altura de 0,1 m, não é possível a definição de limites adequados para a estimativa da *DPM*, tanto de valores de *Dpv* quanto de valores de *TTd*. A observação da Figura 17a e 17d, revela que os valores de *Dpv* e de *TTd* apropriados para que a estimativa possa ser realizada a partir do ambiente do interior do dossel de plantas, na altura 0,1 m, podem assumir cifras muito pequenas. Assim, a partir de valores de *Dpv* e de *TTd* muito pequenos, mudanças fracas nas condições ambientais facilmente podem resultar em erros na estimativa da *DPM*, devido a tênue diferença entre os momentos com a presença e a ausência de molhamento foliar.

Para a utilização dos valores do *Dpv* na altura de 1,5 m acima do solo, foi verificado melhora nos valores das estatísticas de avaliação quando as estimativas foram obtidas no cultivo no outono de 2005. Para os valores da *TTd* a 1,5 m de altura obteve-se semelhança nos valores das estatísticas de avaliação dos cultivos avaliados, sendo verificados os melhores valores das estatísticas de avaliação dos desempenhos quando a estimativa da *DPM* foi realizada nos cultivos no outono e na primavera de 2004.

Com base nos resultados verificados com a utilização dos valores da *TTd* e do *Dpv*, nos cultivos realizados no ano de 2004 e no outono de 2005 foi verificado que, essas variáveis tem potencial para a utilização na estimativa da *DPM*, entretanto ainda necessitam de melhor detalhamento em novos estudos e assim se possam ter constatações e argumentações mais conclusivas. Provavelmente, para a obtenção de resultados promissores, a utilização dessas variáveis deve ser realizada a partir de medições acima do topo do dossel. Para estimativas logo acima do topo do dossel, provavelmente os valores da *DPM* sejam superestimados em anos mais úmidos, no entanto, nessas condições é preferível que a margem de segurança, do número de horas de *DPM*, seja maior do que menor.

#### 4.4 Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho através do modelo CART e através de modelos com cálculo do balanço de energia

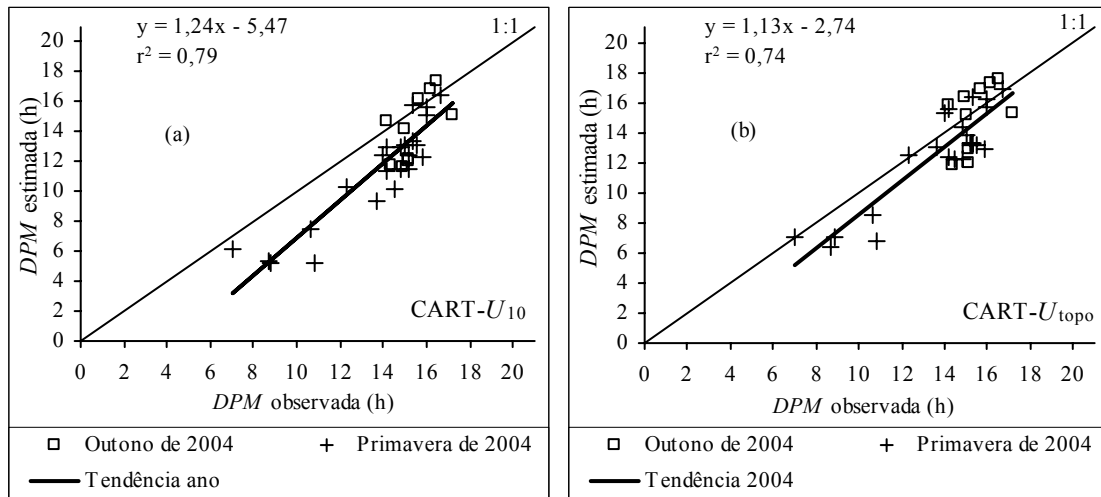
Além de serem testados os valores simples de  $Ttd$  e de  $Dpv$  na estimativa da  $DPM$ , ainda foi avaliado o modelo empírico desenvolvido por Gleason et al. (1994), que reúne as variáveis  $T_{ar}$ ,  $Td$ ,  $UR$  e a velocidade do vento (Tabela 9, Figura 18 e 19). Juntamente com as estimativas dos valores de  $DPM$ , a partir de princípios empíricos, também foram avaliados os resultados obtidos com modelos analíticos. Para isso, foram utilizados dois modelos, sendo um deles transcrito em forma de algoritmo elaborado por Heldwein (1993), para o cálculo do balanço de energia de folhas individuais (BEF) e o outro modelo fundamentado por Penman, segundo Kim et al. (2004) (Tabela 10, Figura 20).

##### 4.4.1 Estimativa da $DPM$ através do modelo CART

A utilização do modelo CART, conforme Gleason et al. (1994), obedece a uma classificação das variáveis meteorológicas. A partir dessa classificação o modelo preconiza que devem ser utilizadas as inequações 6 ou 7, apresentadas no material e métodos, de acordo com a adequação da condição de ambiente. A partir dos resultados foi verificado que a inequação 7 acusou a ocorrência de molhamento foliar em poucos momentos dos cultivos realizados. Entretanto, os momentos em que foram satisfeitos os critérios da resolução da inequação 7, os quais seriam contabilizados como valores de  $DPM$ , ocorreram entre as 14 h e as 16 h, em condições de  $UR$  em torno de 50%. Dessa forma, foi descartada a utilização da inequação 7 pois, as vezes em que seus critérios foram satisfeitos, representaram períodos de tempo em que não ocorreu qualquer tipo de molhamento das folhas das plantas de batata.

Os resultados obtidos pela estimativa da  $DPM$ , nos cultivos realizados no ano de 2004, a partir da inequação 6, são apresentados na Figura 18 e os seus valores das estatísticas de avaliação são apresentados na Tabela 9. A plotagem dos dados observados e estimados pelo modelo CART, indica que os valores de  $DPM$  do cultivo realizado no outono de 2004 foram os mais ajustados sobre a reta 1:1 do que os da primavera de 2004 (Figura 18a). O cultivo realizado na primavera de 2004 teve os valores de  $DPM$  subestimados, principalmente nos valores menores de  $DPM$ . Dessa forma ocorreu uma tendência média geral com predominância de subestimativa para a  $DPM$  no ano de 2004 (Figura 18a). Esse resultado ainda pode ser verificado através dos altos valores de  $DMN$ , de  $RMSE$  e da distribuição das

suas porções de erros sistemático e não sistemático e através do alto valor absoluto do coeficiente  $a$  da equação linear entre os valores de  $DPM$  observados e estimados. Apesar das estimativas tendenciosas, o desempenho do modelo CART pode ser classificado como bom segundo o coeficiente de confiança  $c$ .



**Figura 18** Duração do período de molhamento ( $DPM$ ) determinada por observação visual e estimada pelo modelo CART com os valores de velocidade do vento registrados a 10 m de altura ( $U_{10}$ ) (a) e com os valores corrigidos para o topo ( $U_{topo}$ ) de um dossel de plantas (b), nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004, em Santa Maria-RS.

A expectativa na utilização do modelo CART era de que ocorressem estimativas mais acuradas para os valores menores de  $DPM$  no cultivo de batata. Isso se justifica pelo fato de que Sentelhas et al. (2004c) verificaram maior acurácia nas estimativas pela utilização do modelo CART e ainda, observaram a predominância de superestimativas dos valores de  $DPM$  para a cultura do algodão, na região de Piracicaba-SP.

A verificação de valores pouco acurados da estimativa da  $DPM$  pelo modelo CART, também foi relatada por Kim et al. (2002). No entanto, Kim et al. (2002) observaram uma melhora nas respostas do modelo CART, a partir da utilização de valores de velocidade do vento corrigidos para a altura do topo do dossel de plantas. Dessa forma, os valores de vento determinados a 10 m de altura ( $U_{10}$ ), como preconiza o modelo original, foram substituídos por valores de velocidade do vento corrigidos, a partir do perfil logarítmico que a velocidade do vento apresenta à medida que a altura diminui com a aproximação da superfície do solo, para a altura do topo da cultura da batata ( $U_{topo}$ ) no cálculo da inequação 6.



**Tabela 9** Avaliação da estimativa da duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*), a partir da utilização do modelo CART com os valores de velocidade do vento registrados a 10 m de altura ( $U_{10}$ ) e com os valores corrigidos para o topo ( $U_{\text{topo}}$ ) de um dossel de plantas, nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

Modelo-Ano	Vento	<i>DPM</i>		<i>RMSE</i>				$E_t = a + bO_t$					$\Sigma$ PO
		$\bar{E}$ (h)	<i>DMN</i>	(h)	<i>s</i>	<i>ns</i>	$s \div ns$	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	
CART - 2004	$U_{10}$	12,17	0,143	2,60	2,11	1,52	1,39	-5,472	1,242	0,86	0,82	0,70	15
CART - 2004	$U_{\text{topo}}$	13,29	0,064	1,84	0,96	1,57	0,61	-2,741	1,129	0,84	0,89	0,74	9
CART - 2005	$U_{10}$	12,77	0,062	3,00	1,20	2,74	0,44	-3,771	1,214	0,82	0,90	0,74	15
CART - 2005	$U_{\text{topo}}$	13,78	-0,012	2,53	0,88	2,38	0,37	-2,804	1,217	0,85	0,92	0,79	9

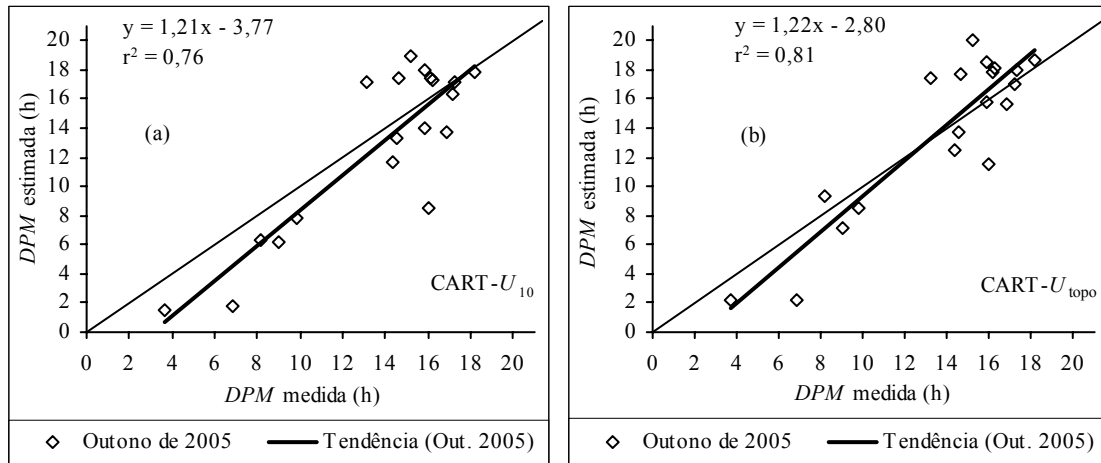
*DPM*  $\bar{E}$  = média dos valores estimados da duração do período de molhamento por orvalho; *DMN* = diferença média normalizada; *RMSE* = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos (*s*) e não sistemáticos (*ns*); *a* e *b* = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_t$ ) e estimados ( $E_t$ ); *r*, *d* e *c* = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança;  $\Sigma$  PO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos modelos CART e CART- $U_{\text{topo}}$  utilizados nas estimativas da *DPM*.

A avaliação das estimativas da *DPM* obtidas com a utilização do modelo CART modificado pelo uso da velocidade do vento no topo da cultura da batata (CART- $U_{\text{topo}}$ ), permitiu verificar uma melhora significativa na maioria dos valores das estatísticas de avaliação do desempenho do modelo (Figura 18b; Tabela 9). Esses resultados foram similares aos resultados encontrados por Kim et al. (2002). A exceção foram os valores dos coeficientes de correlação (*r*) e de ajuste dos dados ( $r^2$ ) que apresentaram valores menores após a substituição dos valores de  $U_{10}$  pelos valores de  $U_{\text{topo}}$ . Já o valor do coeficiente de exatidão apresentou uma melhora considerável, aumentando de 0,82 para o valor de 0,89. Isso é um indicativo da elevada acurácia nas estimativas da *DPM* pela utilização dos valores da  $U_{\text{topo}}$  em substituição aos valores da  $U_{10}$  no modelo CART.

Com a utilização do modelo CART- $U_{\text{topo}}$ , o desempenho das estimativas da *DPM* foi classificado como bom, de acordo com o coeficiente de confiança *c*. Os resultados, ainda que com a predominância de subestimativas, foram satisfatórios, principalmente se levarmos em consideração que o modelo CART foi desenvolvido em um país do hemisfério norte e é basicamente empírico. Dessa forma, pode-se afirmar que o modelo CART apresenta a possibilidade de sua utilização em diferentes locais e condições de ambiente (GLEASON et al., 1994; KIM et al., 2002; SENTELHAS et al., 2004c).

A capacidade de estimativa da *DPM* na cultura da batata, através dos modelos CART e pelo CART- $U_{\text{topo}}$ , ainda foi testada a partir da utilização dos dados das variáveis meteorológicas medidas durante o cultivo realizado no outono de 2005. Ao comparar as Figuras 18a e 19a constata-se que as estimativas da *DPM* pela utilização do modelo CART

apresentaram coeficientes de ajuste dos dados menores em 2005 do que em 2004. No entanto, os valores das estatísticas de avaliação do modelo, apresentados na Tabela 9, no geral foram melhores em 2005, destacando-se os valores do coeficiente de exatidão  $d$ , da  $DMN$ , e da distribuição do  $RMSE$  nos seus erros sistemático e não sistemático.



**Figura 19** Duração do período de molhamento ( $DPM$ ) determinada por observação visual e estimada pelo modelo CART com os valores de velocidade do vento registrados a 10 m de altura ( $U_{10}$ ) (a) e com os valores corrigidos para o topo ( $U_{topo}$ ) de um dossel de plantas (b), num cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

Os valores de  $RMSE$  observados na avaliação da utilização do modelo CART no cultivo de 2005, foram elevados se comparados com os valores de  $RMSE$  obtidos pelas estimativas de  $DPM$  nos cultivos de 2004. De forma geral, devido ao relativo êxito do modelo CART, esperava-se que esse possibilitasse obter valores de estimativa com menor  $RMSE$  e que apresentassem menores dispersões dos valores estimados da  $DPM$ , se comparadas com as estimativas obtidas com a utilização dos valores de  $UR$ , de  $TTd$  e de  $Dpv$  no cultivo de 2005. Esse fato não foi verificado e demonstra que o grau de empirismo na estimativa da  $DPM$  foi o mesmo, tanto com a utilização dos valores de  $UR$ , de  $TTd$  e de  $Dpv$ , quanto com a utilização do modelo CART. No entanto, deve ser considerado que os dados de  $DPM$  utilizados para a comparação com os valores estimados, no cultivo realizado no outono de 2005, foram medidos por sensores de molhamento. Talvez por esse fato possam existir erros de determinação da  $DPM$  que seriam menores se a determinação tivesse sido realizada por observações visuais.

A partir do teste em 2005, os desempenhos, do modelo CART e da modificação CART- $U_{topo}$ , podem ser classificados como bom e muito bom, respectivamente, segundo o

coeficiente de confiança  $c$ . A utilização do modelo  $CART-U_{topo}$ , permitiu a obtenção de estimativas da  $DPM$  da cultura da batata de forma acurada e relativamente precisa para os cultivos realizados no ano de 2004 e no outono de 2005.

#### 4.4.2 Estimativa da $DPM$ através do balanço de energia de folhas individuais e através do modelo de Penman

A utilização dos modelos baseados nos princípios do balanço de energia é uma alternativa para a estimativa da ocorrência de orvalho nas folhas da batata. Para o balanço de energia são considerados os processos de condensação e de evaporação da água nas superfícies dos vegetais como resultado da contabilização do fluxo de calor latente. Os resultados da avaliação dos valores da estimativa da  $DPM$ , obtidos a partir da utilização dos modelos derivados do balanço de energia das folhas (BEF) conforme Heldwein (1993) e do balanço de energia do dossel de plantas de Penman, conforme foi apresentado por Kim et al. (2004) são apresentados na Tabela 10 e na Figura 20.

**Tabela 10** Avaliação dos valores de duração do período de molhamento por orvalho ( $DPM$ ), estimada pelos modelos do balanço de energia das folhas (BEF) e de Penman, nos cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

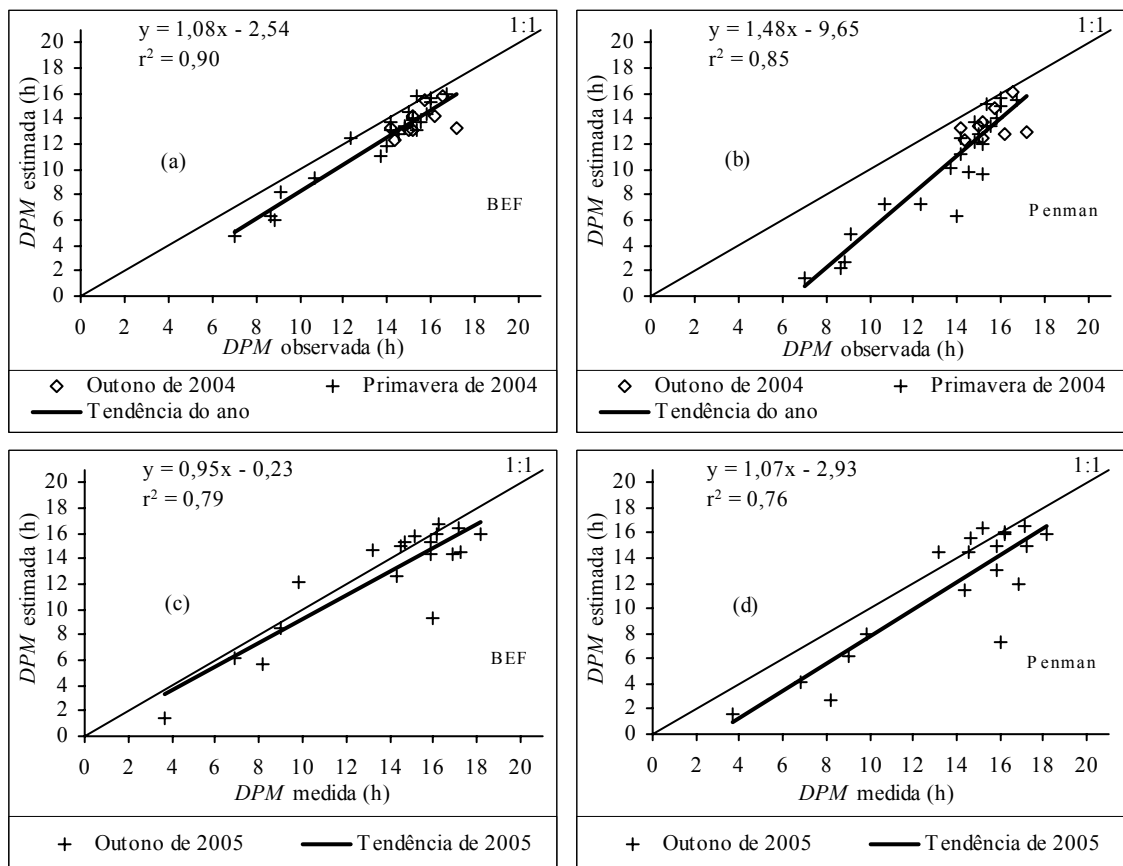
Modelo - Ano	$DPM$		$RMSE$				$E_i = a + bO_i$					
	$\bar{E}$ (h)	$DMN$	(h)	$s$	$ns$	$s \div ns$	$a$	$b$	$r$	$d$	$c$	$\Sigma PO$
BEF - 2004	12,74	0,098	1,67	1,41	0,89	1,57	-2,544	1,082	0,92	0,91	0,84	8
Penman - 2004	11,27	0,202	3,46	3,10	1,53	2,03	-9,652	1,481	0,89	0,77	0,69	16
BEF - 2005	12,66	0,071	2,17	0,99	1,93	0,51	-0,230	0,946	0,84	0,93	0,78	8
Penman - 2005	11,67	0,144	3,11	1,98	2,39	0,83	-2,929	1,071	0,83	0,88	0,73	16

$DPM \bar{E}$  = média dos valores estimados da duração do período de molhamento por orvalho;  $DMN$  = diferença média normalizada;  $RMSE$  = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos ( $s$ ) e não sistemáticos ( $ns$ );  $a$  e  $b$  = coeficientes linear e angular da reta entre os valores observados ( $O_i$ ) e estimados ( $E_i$ );  $r$ ,  $d$  e  $c$  = coeficiente de correlação, coeficiente de exatidão e coeficiente de confiança;  $\Sigma PO$  = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos modelos do balanço de energia das folhas (BEF) e do balanço de energia de Penman, utilizados nas estimativas da  $DPM$ .

Os valores das estatísticas de avaliação da estimativa da  $DPM$ , pela utilização do modelo do BEF, apresentaram os valores de 0,92 e de 0,91, para os coeficientes de correlação e de exatidão, para as estimativas da  $DPM$  nos cultivos realizados em 2004. Esses valores, dos coeficientes  $r$  e  $d$ , podem ser considerados elevados, e a sua multiplicação permite que o modelo seja classificado como muito bom, e muito próximo da classificação de ótimo para a estimativa da  $DPM$ , de acordo com o coeficiente de confiança  $c$ . Entretanto, grande parte do

elevado ajuste dos pontos pode estar associada a distribuição bastante sistemática dos erros de estimativa como pode ser verificado pelo valor da relação  $s^{-ns}$ , nas estimativas do modelo BEF nos cultivos de 2004 (Tabela 10). Dessa forma, ainda se observa que o valor absoluto do coeficiente  $a$ , da equação linear entre os valores observados e estimados, também foi elevado (Tabela 10 e Figura 20a).

O modelo de Penman apresentou valores elevados de subestimativa da *DPM* (Figura 20b) As subestimativas foram maiores nos valores baixos de *DPM*, tornando os erros sistemáticos maiores em duas vezes os erros aleatórios (Tabela 10). Dessa forma, apesar dos valores baixos do coeficiente  $d$ , que é indicativo da baixa acurácia nas estimativas, ainda foi verificado um desempenho que pode ser classificado como bom, de acordo com o coeficiente de confiança  $c$ . Para o desempenho do modelo de Penman, de forma similar ao desempenho do modelo do BEF, ocorreu um erro sistemático elevado que favoreceu a obtenção de valores elevados de precisão ( $r$ ) e de ajuste dos dados ( $r^2$ ).



**Figura 20** Duração do período de molhamento por orvalho (*DPM*) determinada por observação visual em 2004 e por medida com sensores de molhamento em 2005, e estimada pelo balanço de energia das folhas (BEF) (a, c) e pelo modelo de Penman (b, d), em cultivos de batata realizados no outono e na primavera de 2004 e no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

As Figuras 20c e 20d permitem verificar que ocorreu uma diminuição da precisão das estimativas para os modelos do BEF e de Penman, quando foram utilizados esses dois modelos na estimativa dos valores de *DPM*, no cultivo no outono de 2005. No entanto, merece destaque a obtenção do coeficiente de exatidão *d* maior para as estimativas obtidas pela utilização do modelo do BEF. Apesar da melhora que ocorreu nos valores das estatísticas de avaliação do desempenho das estimativas da *DPM*, pela utilização da equação de Penman no cultivo no outono de 2005, se comparados aos valores das estatísticas obtidas para o cultivo na primavera de 2004, ainda pode ser verificada uma subestimativa significativa dos valores de *DPM*. Essa tendência pode ser visualizada na Figura 20c e pelos valores positivos e altos de *DMN* (Tabela 10).

Os desempenhos obtidos pelo modelo do BEF e pelo modelo de Penman, considerando o valor do coeficiente de confiança *c*, foram classificados como muito bom e bom, respectivamente, para as estimativas da *DPM* no cultivo no outono de 2005. Numa avaliação geral das estimativas da *DPM*, verifica-se que o modelo do BEF apresentou um desempenho superior, se comparado ao do modelo de Penman (Tabela 10) tanto nos cultivos no outono e na primavera de 2004 (Figuras 20a e 20b) quanto no outono de 2005 (Figura 20c e 20d). Os resultados verificados são favoráveis à recomendação da utilização do modelo do BEF para a estimativa da *DPM* dos cultivos de batata. No entanto, dispondo-se das variáveis meteorológicas, pode-se aconselhar a utilização de um conjunto de diferentes modelos de estimativa, transcritos em linguagem computacional para um algoritmo. Assim, eventuais estimativas equivocadas da *DPM* por um ou outro modelo podem ser detectadas, aumentando a segurança e a confiabilidade do sistema de alerta de epifítia que está sendo utilizado.

## 5 CONCLUSÕES

- A formação de orvalho no dossel de plantas de batata, nos períodos com elevada perda de energia por radiação de onda longa e com baixa velocidade do vento, ocorre com a mesma velocidade tanto em cultivo de outono quanto em cultivo de primavera, sendo 1h15min o tempo médio máximo para as folhas passarem de secas a molhadas.

- Ocorre maior número de noites com progresso lento da cobertura das superfícies das folhas de batata pela formação de orvalho na primavera do que no outono, basicamente

em função da maior persistência do vento na primavera, mesmo que em baixas velocidades, no período entre o início do crepúsculo noturno e a meia noite.

- A secagem das superfícies das plantas de batata ocorre com a mesma velocidade para os períodos de primavera e de outono, sendo basicamente dependente da incidência de radiação solar sobre as superfícies do cultivo.

- As datas próximas ao período de maior resfriamento do hemisfério sul, isto é, próximas e após o solstício de inverno, são as mais passíveis da ocorrência de períodos prolongados da duração do molhamento por orvalho nas folhas de batata.

- Os valores de  $UR$  podem ser utilizados para estimar a  $DPM$  de cultivos de batata a partir de valores limites dependentes da altura de medida da  $UR$ .

- O limite de  $UR \geq 87\%$  com extensão até  $70\%$  ( $UR \geq 87|70\%$ ), o qual considera como início do molhamento o momento em que, entre  $70\%$  e  $87\%$  de  $UR$ , ocorre um acréscimo maior ou igual a  $3\%$  na  $UR$  em 30 minutos, e como término da secagem o momento em que, entre  $87\%$  e  $70\%$  de  $UR$ , ocorre um decréscimo maior do que  $2\%$  na  $UR$  em 30 minutos, é o mais adequado para estimar a  $DPM$  em um cultivo de batata, quando a medição da  $UR$  é realizada a  $1,5$  m de altura do solo.

- O limite de  $UR \geq 90\%$  não é adequado para estimar os valores de  $DPM$  em um cultivo de batata a partir de dados de  $UR$  medidos acima do dossel das plantas, mas pode ser utilizado, da mesma forma que o limite de  $UR \geq 87\%$ , quando a medição da  $UR$  é realizada em meio ao dossel de plantas.

- A utilização do limite de  $UR \geq 90\%$  resulta em subestimativa dos valores de  $DPM$  para qualquer nível de medição da  $UR$  acima do dossel das plantas de batata.

- A utilização da diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho do ar ( $TTd$ ), bem como do déficit de pressão de vapor do ar ( $Dpv$ ) deve ser realizada a partir de medições acima do topo do dossel, sendo a  $TTd$  a variável mais promissora para trabalhos mais detalhados;

- O modelo CART, resolvido a partir de dados de velocidade do vento corrigidos para a altura do topo do dossel de plantas, pode ser utilizado na estimativa dos valores de  $DPM$  de cultivos de batata, com um desempenho comparável à utilização dos valores de  $UR$  medidos a  $1,5$  m de altura do solo.

- O modelo do balanço de energia de folhas individuais é adequado para estimar a  $DPM$  por orvalho em um dossel de plantas de batata, porém sua utilização depende de um número maior de cálculos e de variáveis meteorológicas do que os modelos empíricos e semi-analíticos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE-PIEDRA, J.L. et al. Simulation of potato late blight in the Andes. II: Validation of the LATEBLIGHT Model. **Phytopathology**, v.95, n.10, p.1200-1208, 2005.
- BEDENDO, I.P. Ambiente e Doença. In: BERGAMIN FILHO et al. (Eds.) **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. Agronômica Ceres: São Paulo, v.1, p.820-828, 1995.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Manejo integrado de pragas (IPM): problemas conceituais para sua aplicação em fitopatologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.24, n.3, p.385-390, 1999.
- BISOGNIN, D.A. **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Santa Maria: Gráfica Universitária – UFSM, 1996. 64p.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p. 89-97, 1997.
- CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley & Sons. p.423-452, 1990.
- CLAURE, L.L. História de la papa. **Revista Papa**, n. 16, 1996.
- COSTA, R.V. et al. Previsão da requeima da batateira. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, n.4, p.349-354, 2002.
- CROWE, M.J; COAKLEY, S.M.; EMGE, R.G. Forecasting dew duration at Pendleton, Oregon, using simple weather observations. **Journal of Applied Meteorology**, v.17, p.1482-1487, 1978.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro, Embrapa solos, 1999. 412p.
- FERNANDEZ, J.M.; PICININI, E.C. Sistema de suporte à tomada de decisão para a otimização do uso de fungicidas na cultura do trigo. **Fitopatologia Brasileira**. v.24, n.1, p.9-16, 1999.

FRY, W.E.; SPIELMAN, L.J. Population biology, p.171-192. In: INGRAM, D.S.; WILLIAMS, P.H. (eds.). **Advances in plant pathology: *Phytophthora infestans***, the case of late blight of potato. London: Academic press, v.7, 1991.

GEIGER, R. **Manual de micrometeorologia**: O clima da camada de ar junto ao solo. 2.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990. 556p.

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

GILLESPIE, T.J.; BARR, A. Adaptation of a dew estimation scheme to a new crop and site. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.31, n.3-4, p.289-295, 1984.

GLEASON, M.L. et al. Development and validation of empirical model to estimate the duration of dew periods. **Plant Disease**, v.78, p.1011-1016, 1994.

HELDWEIN, A.B. **Ermittlung der taubenetzung von pflanzenbeständen durch anwendung mikrometeorologischer verfahren sowie mittels konventioneller methoden**. 1993, 206p. Tese (Doutorado) – Fachbereich Internationale Agrarentwicklung. Technische Universität Berlin, 1993.

HELDWEIN, A.B.; KRZYSCH, G. Escala para a observação visual do molhamento por orvalho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.2, p.207-214, 1997.

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

JACOBS, A.F.G.; HEUSINKVELD, B.G.; KRUIT, R.W. Leaf wetness within a lilly canopy. In: CONFERENCE ON AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY, 26., 2004, Vancouver. American Meteorological Society: Vancouver, British Columbia, Canada. Sessão 05, trabalho 01. **Site**: <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/76201.pdf>, visitado em nov. de 2005.

JACOBS, A.F.G.; VAN PUL, A.; EL-KILANI R.M.M. Dew formation and the drying process within a maize canopy. **Boundary-Layer Meteorology**, v.69, n.4, p.367-378, 1994.

JACOBS, A.F.G.; NIEVEEN, J.P. Formation of dew and the drying process within crop canopies. **Meteorological Applications**, v.2, n.3, p.249-256, 1995.



KATSURAYAMA, Y.; BONETI, J.I. da S.; AMORIM Neto, A. Agrometeorologia operacional: sistemas de alerta fitossanitário estação de avisos fitossanitários de São Joaquim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA: AGROMETEOROLOGIA, MONITORAMENTO AMBIENTAL E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 10. 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p.75-77.

KATSURAYAMA, Y.; BONETI, J.I.S. Viabilidade do uso de sistema de previsão para o controle da requeima da batateira na região de São Joaquim, SC. **Fitopatologia Brasileira**, v.21, n.1, p.105-109.1996.

KIM et al. Model to enhance site-specific estimation of leaf wetness duration. **Plant Disease**, v.86, p.179-185, 2002.

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**, v.127, p.53-64, 2004.

KRAUSE, R.A., et al. BLITECAST a computerized forecast of potato late blight. **Plant Disease**, v.59, p.95-98, 1975.

KRUIT et al. Comparison between four methods to estimate leaf wetness duration caused by dew on grassland. In: CONFERENCE ON AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY, 26., 2004, Vancouver. American Meteorological Society: Vancouver, British Columbia, Canada. Sessão 10, trabalho 01. **Site:** <http://ams.confesc.com/ams/pdfpapers/77740.pdf>, visitado em nov. de 2005.

LAU, Y.F. et al. Effects of coating, deployment angle, and compass orientation on performance of electronic wetness sensors during dew periods. **Plant Disease**, v.84, n.2, p.192-197, 2000.

MAASS, G.F. et al. Avaliação da eficiência de sensores de resistência elétrica na determinação do início do molhamento foliar. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 20., 2005, Santa Maria. **Anais...**(CD rum) Santa Maria, UFSM, 2005.

MONTEITH, J.L., UNSWORTH, M.H. **Principles of Environment Physics**. 2<sup>nd</sup> ed., London: Edward Arnold, 1990, 291p.

MONTEITH, J.L. Dew. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.83, p.322-341, 1957.

- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, Diretoria de Terras e Colonização, Sessão de Geografia. 1961. 46p.
- NAZARENO, N.R.X. et al. Controle da requeima da batata através do monitoramento das variáveis climáticas. **Fitopatologia Brasileira**, v.24, n.2, p.170-174, 1999.
- PEDRO JUNIOR, M.J.; GILESPIE, T.J. Estimating dew duration. I. Utilizing micrometeorological data. **Agricultural Meteorology**, v.25, n.1, p.283-296, 1982a.
- PEDRO JUNIOR, M.J.; GILESPIE, T.J. Estimating dew duration. II. Utilizing standard weather station data. **Agricultural Meteorology**, v.25, n.1, p.297-310, 1982b.
- REIS, A.; et al. Monitoramento da população de *Phytophthora infestans* na região da zona da mata de Minas Gerais de 1998 a 2000. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, n.6, p.614-620, 2002.
- REIS, E.M. Requeima: sistemas de previsão de *Phytophthora infestans* no cultivo de batata e tomate. **Cultivar HF**, Agosto/setembro 2003, 11p. Caderno técnico n.21.
- SCHNEIDER, P.R.; TONINI, H. Utilização de variáveis Dummy em equações de volume para *Acacia mearnsii* De Wild. **Ciência Florestal**, v.13, n.2, p.121-129, 2003.
- 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**, v.48, p.202-205. 2004a.
- SENTELHAS, P.C. et al. Operational exposure of leaf wetness sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.126, p.59-72, 2004b.
- SENTELHAS, P.C. et al. Estimating leaf wetness duration on a cotton crop from meteorological data. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.2, p.235-245, 2004c.
- SENTELHAS, P.C. et al. Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. **International Journal of Biometeorology**, v.49, p.363-370, 2005.
- STRECK, L. et al. Resultados prévios da avaliação de um sensor de molhamento foliar num dossel de batata. In: REUNIÓN ARGENTINA Y LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA: AGROMETEOROLOGÍA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA EN AMÉRICA LATINA, 10. y 4., 2003, Mar del Plata. **Anais...** (CD rum). Mar del Plata, p.120, 2003.

SUTTON, J.C. Predictive value of weather variables in the epidemiology and management of foliar diseases. **Fitopatologia Brasileira**, v.13, n.4, p.305-312, 1988.

SVERDRUP, H.U. On the evaporation from the oceans. **Journal of Marine Research**, v.1, p.3-14, 1937.

TAZZO, I.F. **Variação de alguns elementos micrometeorológicos no dossel de plantas de batata**. 2005, 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

TIERSCH, G. **Die bestimmung der aktuellen evapotranspiration landwirtschaftlicher nutzpflanzenbestände mit hilfe mikrometeorologischer verfahren**. 1988, 206p. Tese (doutorado) – Fachbereich Internationale Agrarentwicklung. Technische Universität Berlin, 1988.

TRENTIN, G. **Avaliação de sistemas de previsão da ocorrência de *Phytophthora infestans* em cultivo de batata**. 2006, 100f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

WALLIN, J.R. Summary of recent progress in predicting the late blight epidemics in United States and Canada. **American Potato Journal**, v.39, p.306-312, 1962.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.63, p.1309-1313, 1982.

WILLMOTT, C.J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985.

WILSON, T.B.; BLAND, N.L.; NORMAN, J.M. Measurement and simulation of dew accumulation and drying in a potato canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.93, n.2, p.111-119, 1999.

WITTICH, K.P. Some remarks on the dew duration on top of an orchard. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.72, p.167-180, 1995.

WU, B.M. et al. Validation of weather and leaf wetness forecasts for a lettuce downy mildew warning system. **Canadian Journal of Plant Pathology**. v.23, p.371-383, 2001.

## 7 ANEXOS

### **Anexo I** Modelos para a determinação não destrutiva da área das folhas de batata (*Solanum tuberosum*)

#### 1 Introdução

O conhecimento da área foliar de uma cultura é importante, pois dentre outras finalidades, ela serve para que se possam estabelecer parâmetros das condições de crescimento e de desenvolvimento do cultivo, da ocupação do espaço aéreo pela cultura, da interceptação de energia solar, da chuva e da alocação de fotoassimilados resultantes da fotossíntese da parte aérea. A partir da massa foliar do cultivo é possível, por exemplo, se estabelecer estimativas de rendimento do cultivo.

Na agrometeorologia, a ocupação do espaço aéreo do cultivo, com a evolução da área foliar no ciclo da cultura, pode modificar a configuração das variáveis meteorológicas do micro-ambiente do cultivo. No entanto, a maioria dos métodos de determinação da área foliar é destrutiva, ou seja, o conhecimento da área das plantas estudadas somente é possível se elas forem retiradas do cultivo. Isso se torna impraticável para o estudo do micro-ambiente do cultivo, pois resulta em alterações significativas da configuração e da disposição das plantas no dossel vegetativo. Para diminuir e evitar a interferência sobre o cultivo, o presente trabalho visou a obtenção de modelos que possam auxiliar na determinação da área foliar das plantas, sem que seja necessária a sua retirada do campo experimental e que se utilizem de determinações simples como a extensão longitudinal (comprimento) ou transversal (largura) das folhas ou a combinação dessas duas medidas lineares.

#### 2 Material e métodos

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS, (latitude: 29°41'S, longitude: 53°48'W e altitude: 95 m), no período de 05/03 a 05/06/2004 e de 23/07 a 20/10/2004. A cultivar utilizada foi a Asterix.

Foram coletadas cinco plantas de batata semanalmente e, em laboratório, foi determinado o comprimento e a largura das folhas, com auxílio de uma régua com resolução de 0,001 m. O comprimento foi medido na parte superior da nervura central que

sustenta os folíolos, ou seja, foi medida a extensão linear desde a base de inserção da folha junto ao caule até a extremidade do folíolo central. A largura foi obtida pela determinação da maior extensão linear transversal à folha e medida entre as extremidades do par de folíolos. A maior largura das folhas de batata não tem posição fixa e pode ser observada no segundo ou no terceiro par de folíolos a partir do folíolo central da extremidade da folha. Os valores lineares, do comprimento e da largura das folhas, foram utilizados em centímetros como variáveis independentes e relacionados com a área foliar determinada semanalmente.

A determinação da área de cada folha foi obtida pela relação entre a massa seca e a sua área foliar conhecida, através do método dos discos. Para que essa relação fosse possível, procedeu-se a retirada de discos da lâmina foliar de cada folha, com auxílio de um calador com a área circular de seus discos conhecida. Em média foram retirados 10 discos de cada folha. Após a contagem do número de discos retirados, os discos e o restante de cada folha, devidamente identificados, foram acondicionados, em separado, em dois sacos de papel. Em seguida, os dois sacos de papel, um contendo os discos e o outro o restante da folha, foram levados à estufa para a secagem da massa verde à temperatura de 65 °C até que atingissem massa constante. A secagem levou em torno de uma semana, sendo então determinada a massa de matéria seca das folhas e dos discos com o auxílio de uma balança eletrônica com resolução de 0,001 g.

A área total de cada folha ( $AF$ ) foi estimada a partir das relações entre a massa seca dos discos ( $MSD$ ), a área total dos discos antes da secagem ( $ATD$ ) e a massa seca total da folha ( $MST$ ) resultante da soma da massa seca dos discos com a massa seca do restante da folha da qual haviam sido retirados os discos. Essa relação pode ser escrita pela equação seguinte.

$$AF = (ATD \cdot MST) \cdot MSD^{-1} \quad (a \ I)$$

A partir dessa regra de três simples, foi possível o cálculo da área das folhas da cultura, durante o ciclo da batata. Assim, obtiveram-se dois bancos de dados: um banco para o primeiro e outro para o segundo semestre de 2004.

Os modelos matemáticos para a estimativa da área foliar foram gerados com os dados levantados no cultivo realizado no outono de 2004. Para isso, os valores de área foliar foram correlacionados com seus respectivos valores de dimensões lineares de comprimento ( $C$ ) e de largura ( $L$ ) das folhas, bem como com os valores do produto destas variáveis ( $C \cdot L$ ). O programa estatístico utilizado para se obter as equações de regressão foi o Table Curve 2D, versão 2.03. Dentre os modelos de regressão gerados, foram retirados

três modelos com os maiores valores dos seus coeficientes de determinação ajustados, para cada variável independente. Os nove modelos estão apresentados na Tabela I.1.

Para teste dos modelos, os mesmos foram utilizados na estimativa dos valores de área foliar do cultivo na primavera de 2004. Para a avaliação dos desempenhos dos modelos, nos diferentes cultivos, foram utilizados os valores da diferença média normalizada (*DMN*), ou também chamada de coeficiente de massa residual; o coeficiente linear *a* e angular *b* da reta entre os valores observados ( $A_o$ ) e estimados ( $A_e$ ); a raiz quadrada do quadrado médio do erro (*RMSE*) e seus valores sistemáticos e não sistemáticos (*s* e *ns*, respectivamente); e o coeficiente de correlação ou índice de precisão (*r*), coeficiente de exatidão ou de concordância (*d*) (WILLMOTT et al., 1985) e o coeficiente de confiança (*c*) (CAMARGO E SENTELHAS, 1997). Para facilitar a diferenciação entre os modelos, os modelos foram classificados, enumerando-os do melhor para o pior, a partir de posições ordinais crescentes atribuídas as suas estatísticas. No final da tabela, de apresentação dos modelos e dos valores das estatísticas, foi realizada a soma dos valores das posições ordinais ( $\Sigma PO$ ) das estatísticas de avaliação. O modelo com o menor  $\Sigma PO$  das estatísticas foi considerado superior dentre os modelos avaliados. Assim, quanto maior o valor acumulado, tanto pior foi o desempenho do modelo na estimativa da área foliar da batata.

### 3 Resultados e discussão

Na Tabela I.1 são apresentados os três melhores modelos matemáticos obtidos para cada variável independente estudada. Verificou-se que os modelos de regressão obtidos apresentaram a mesma configuração na distribuição das suas variáveis independentes. No entanto, os seus coeficientes foram diferentes, principalmente quando comparados os modelos obtidos com os valores de *L* e de *C* aos modelos obtidos com o produto dessas variáveis.

A multiplicação das variáveis *C* e *L* auxiliou no ajuste das equações apresentadas nos modelos 1, 2 e 3. Entretanto, os modelos 4, 5 e 6, também merecem destaque pois os valores das estatísticas da sua geração,  $R^2$  ajustado e os valores de *t*, foram similares aos valores dos modelos 1, 2 e 3. Assim, a partir dos modelos, de acordo com a similaridade das suas estatísticas apresentadas na Tabela I.1, pode-se inferir que a largura das folhas contribuiu, de maneira significativa, na estimativa dos valores de área foliar, se comparada aos valores do comprimento das folhas.

Os modelos 1, 4 e 7, os quais apresentaram coeficientes inteiros para o valor do expoente, tiveram os seus ajustes muito similares aos dos modelos 2, 5 e 8, nos quais os valores dos expoentes foram fracionados. Assim, a título de praticidade os modelos 1, 4 e 7 podem ser considerados melhores do que os modelos 2, 5 e 8.

A estimativa da área foliar das folhas das plantas de batata foi obtida pela utilização do modelo número 3, que pode ser escrito como:  $AF=0,535(CL)^{0,9592}$ .

**Tabela I.1** Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar, gerados a partir do banco de dados coletados no cultivo de batata Asterix, realizado no outono de 2004 em Santa Maria, RS.

Número do Modelo*	Modelo	R <sup>2</sup> ajustado	Valores de t dos coeficientes		
			a	b	c
Mod. 1	$3,33+0,4125(CL)$	0,9197	2,44	67,43	-
Mod. 2	$2,54+0,4421(CL)^{0,989}$	0,9195	0,68	3,27	20,50
Mod. 3	$0,535(CL)^{0,9592}$	0,9196	10,34	56,24	-
Mod. 4	$5,49+0,5619L^2$	0,9156	4,01	65,67	-
Mod. 5	$4,97+0,5881L^{1,9847}$	0,9154	1,46	3,68	21,90
Mod. 6	$0,836L^{1,8699}$	0,9152	10,98	54,81	-
Mod. 7	$6,53+0,2789C^2$	0,8447	3,45	46,50	-
Mod. 8	$0,86+0,4663C^{1,8469}$	0,8448	0,14	2,10	13,07
Mod. 9	$0,497C^{1,8279}$	0,8452	7,16	39,28	-

\*Foram utilizadas 397 observações na geração dos modelos.

**Tabela I.2** Valores das estatísticas utilizadas na avaliação do desempenho dos modelos matemáticos para a estimativa da área das folhas de batata da cultivar Asterix, em cultivo realizado no outono de 2004, em Santa Maria, RS.

Modelos	$\bar{A}_E$ média	DMN	RMSE				$y = a+bx$					$\Sigma$ PO
			(h)	s	ns	s÷ns	a	b	r	d	c	
Mod. 1	82,18	0,0018	13,78	4,08	13,16	0,31	6,677	0,917	0,957	0,979	0,937	22
Mod. 2	82,15	0,0021	13,78	4,09	13,16	0,31	6,670	0,917	0,957	0,979	0,937	28
Mod. 3	81,97	0,0044	13,79	4,03	13,19	0,31	6,358	0,918	0,957	0,979	0,937	29
Mod. 4	82,32	0,0002	14,23	4,13	13,62	0,30	6,900	0,916	0,955	0,978	0,933	31
Mod. 5	82,30	0,0004	14,23	4,14	13,62	0,30	6,902	0,916	0,955	0,978	0,933	36
Mod. 6	82,06	0,0033	14,27	3,86	13,74	0,28	6,174	0,922	0,955	0,978	0,933	35
Mod. 7	82,30	0,0004	19,31	7,60	17,75	0,43	12,704	0,845	0,917	0,957	0,877	65
Mod. 8	82,31	0,0002	19,28	7,57	17,73	0,43	12,675	0,846	0,917	0,957	0,878	53
Mod. 9	82,20	0,0016	19,28	7,59	17,73	0,43	12,579	0,846	0,917	0,957	0,878	61

DMN = diferença média normalizada; a e b = coeficientes linear e angular da reta entre os valores de área foliar observados ( $A_o$ ) e estimados ( $A_E$ ); RMSE = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos e não sistemáticos (s e ns, respectivamente); r, d e c = coeficientes de correlação, de exatidão e de confiança;  $\Sigma$  PO = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos modelos de estimativa.

**Tabela I.3** Valores das estatísticas utilizadas na avaliação do desempenho dos modelos matemáticos de estimativa da área de folhas de batata da cultivar Asterix, em cultivo realizado na primavera de 2004, em Santa Maria, RS.

Modelos	$\bar{A}_E$	$RMSE$					$y = a+bx$					
	média	$DMN$	$RMSE$	$s$	$ns$	$s \div ns$	$a$	$b$	$r$	$d$	$c$	$\Sigma PO$
Mod. 1	123,98	-0,121	27,08	14,17	23,08	0,61	3,924	1,086	0,921	0,946	0,872	51
Mod. 2	123,83	-0,120	26,87	13,95	22,96	0,61	4,181	1,082	0,921	0,947	0,872	45
Mod. 3	123,40	-0,116	26,37	13,42	22,69	0,59	4,574	1,074	0,922	0,949	0,874	38
Mod. 4	121,03	-0,094	22,56	10,42	20,01	0,52	10,543	0,999	0,928	0,959	0,890	27
Mod. 5	120,94	-0,093	22,49	10,34	19,97	0,52	10,708	0,997	0,928	0,959	0,890	25
Mod. 6	120,53	-0,090	22,24	9,95	19,89	0,50	11,232	0,988	0,928	0,960	0,890	23
Mod. 7	124,18	-0,123	33,30	14,22	30,12	0,47	4,992	1,078	0,880	0,921	0,810	59
Mod. 8	123,24	-0,114	31,70	12,97	28,93	0,45	6,715	1,054	0,883	0,926	0,818	49
Mod. 9	122,99	-0,112	31,45	12,68	28,78	0,44	6,835	1,050	0,883	0,927	0,819	43

$DMN$  = diferença média normalizada;  $a$  e  $b$  = coeficientes linear e angular da reta entre os valores de área foliar observados ( $A_o$ ) e estimados ( $A_E$ );  $RMSE$  = raiz quadrada do quadrado médio do erro e seus valores sistemáticos e não sistemáticos ( $s$  e  $ns$ , respectivamente);  $r$ ,  $d$  e  $c$  = coeficientes de correlação, de exatidão e de confiança;  $\Sigma PO$  = somatório dos valores das posições ordinais das estatísticas de avaliação dos modelos de estimativa.



## **Anexo II** Comparação entre as observações visuais e as medidas do início do molhamento e do término da secagem das folhas de batata

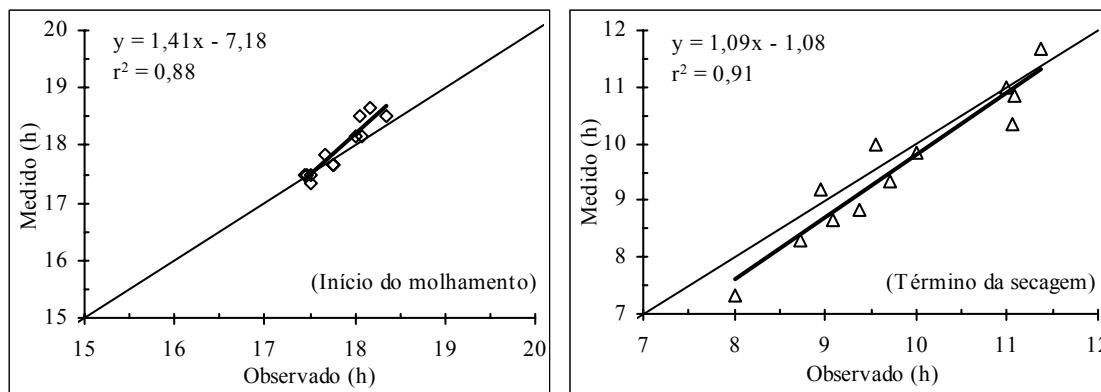
Em razão do baixo número de valores de *DPM* determinados por observação visual no cultivo no outono do ano de 2005, os resultados obtidos por observação visual foram pouco representativos para essa época. Embora tenham sido realizadas 12 observações para o início do molhamento e 12 observações para o término da secagem, somente em seis períodos houve a coincidência entre início e término para que pudesse ser contabilizada a duração do molhamento durante a noite. Entretanto, para o cultivo no outono de 2005, foram utilizados 10 sensores para detecção do molhamento foliar na cultura da batata. Dessa forma, foi realizada uma avaliação da representatividade dos valores medidos nos sensores, para o momento do início do molhamento e o momento do término da secagem, com o objetivo de verificar a possibilidade de serem utilizados os valores de *DPM* medidos nos sensores em substituição às observações visuais.

Para a avaliação foram obtidas as médias aritméticas da hora registrada por seis sensores de molhamento foliar instalados no topo e na altura mediana das plantas, do início de molhamento e do término da secagem, para cada dia. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura II.1 e na Tabela II.1.

Para os momentos de início da formação de orvalho o erro absoluto médio dos valores medidos em relação aos observados foi em torno de dez minutos (0,161h). A partir da tendência de superestimativa apresentada na Figura II.1, foi verificado que o registro das medidas dos sensores apresentaram um atraso no momento do início do molhamento em relação as observações visuais. Dessa forma, se considerarmos que o erro para a detecção visual do início do molhamento está entre 4 e 10 minutos, para intervalos entre observações visuais de 15 minutos (HELDWEIN & KRZYSCH, 1997), pode-se afirmar que o erro entre o momento real da formação de orvalho e o momento em que o sensor passou a registrar a presença de orvalho pode ser no máximo de cerca de 20 minutos (10+10).

Para o término da secagem das folhas o erro absoluto médio verificado foi de 22 minutos (0,382h), entre os valores observados e medidos. Os sensores detectaram o término da secagem antes das observações visuais. Segundo Heldwein & Krzysch (1997), os erros para as determinações de secagem das folhas, realizadas por visualização a intervalos de 15 minutos, são de até 10 minutos e nunca maiores do que 20 minutos. A comparação da secagem nos sensores com as constatações de Heldwein & Krzysch (1997),

permite verificar que o erro entre o momento detectado pelo sensor subtraído dos possíveis erros das observações visuais pode resultar em um desvio máximo de cerca de 17 minutos no momento do término da secagem.



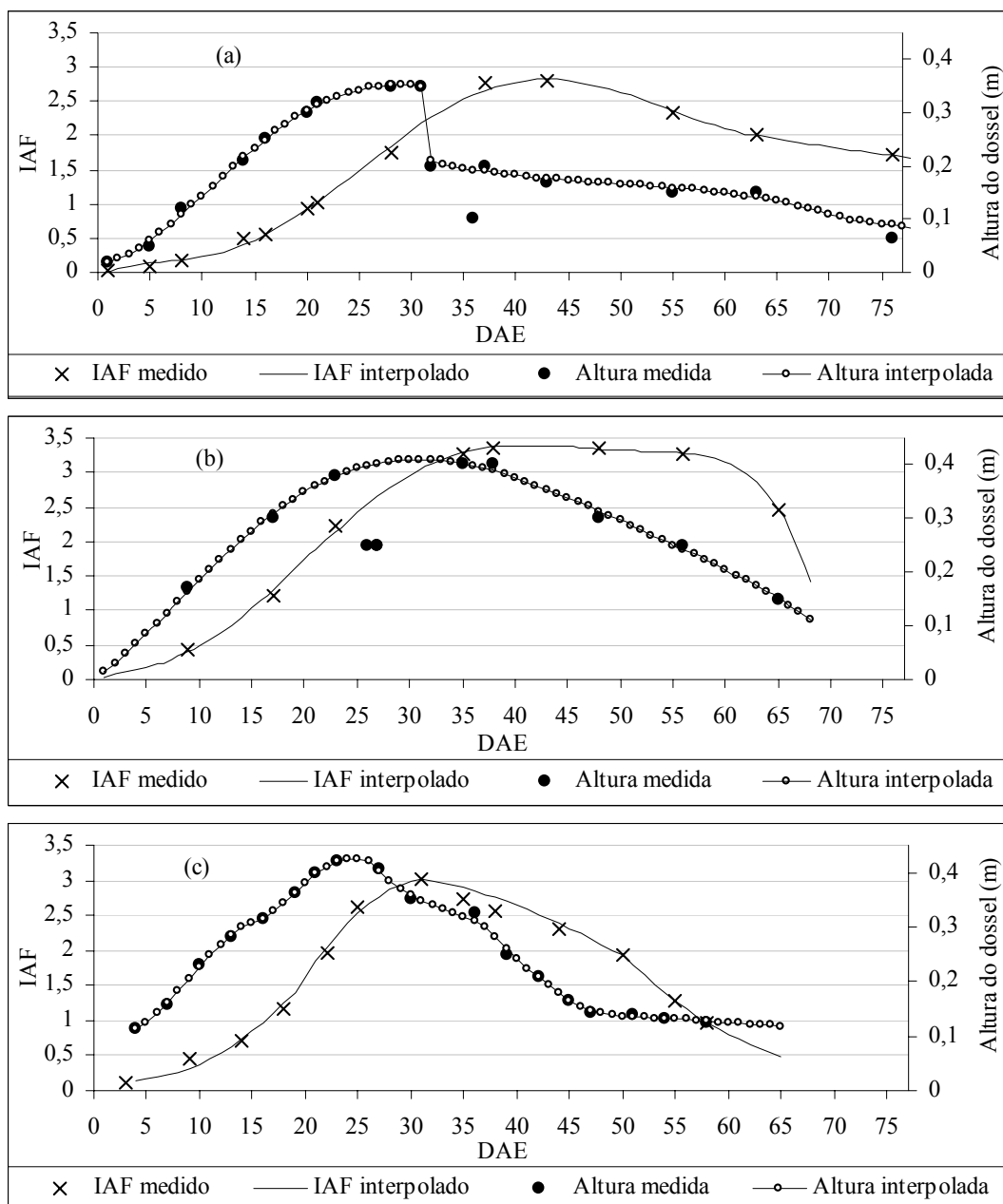
**Figura II.1** Horário da ocorrência do início do molhamento foliar e do término da secagem das folhas, determinado por observação visual e por medida através de sensores de molhamento em um cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

Apesar do número limitado de valores de observações visuais do molhamento foliar, pode-se afirmar, com base nos valores apresentados na Tabela II.1, que os sensores apresentaram uma resposta satisfatória para a medida do início do molhamento e do término da secagem das folhas por orvalho e seus dados podem ser considerados como valores representativos do momento em que se inicia a formação do orvalho e termina a secagem das folhas. Dessa forma, as observações visuais da *DPM* foram substituídas pelos valores medidos com os sensores de molhamento.

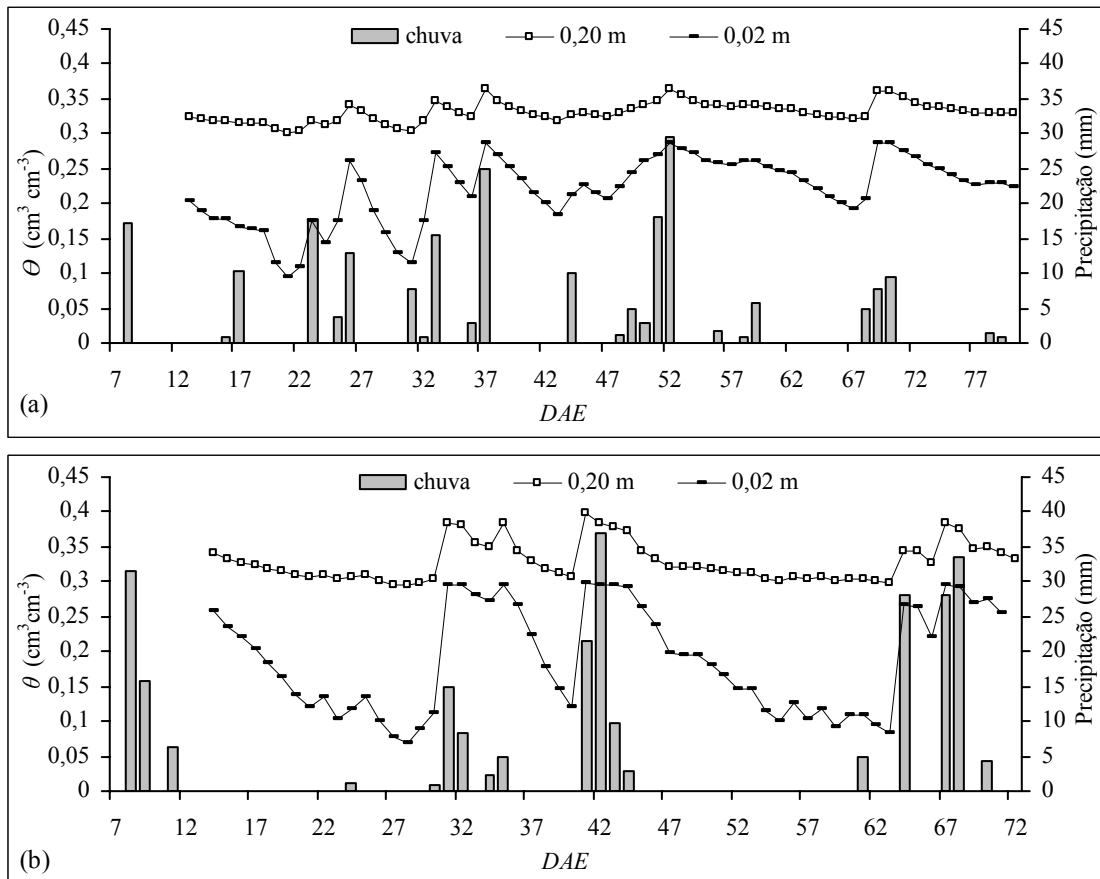
**Tabela II.1** Avaliação dos dados da hora do início do molhamento e do término da secagem das folhas, obtidos a partir dos valores registrados nos sensores de molhamento foliar em relação aos valores de molhamento verificados por observação visual, em um cultivo de batata realizado no outono de 2005, em Santa Maria-RS.

Momento de	Horário médio (horas)		<i>EAM</i> (h)	<i>DMN</i>	<i>RMSE</i>				<i>r</i>	<i>d</i>
	Observado	Registrado			(h)	(h)	<i>s</i>	<i>ns</i>		
Início	17,81	17,92	0,161	-0,006	0,22	0,16	0,15	1,05	0,862	0,911
Término	9,83	9,61	0,382	0,022	0,43	0,24	0,36	0,66	0,874	0,963

*EAM* = erro absoluto médio; *DMN* = diferença média normalizada; *RMSE* = raiz quadrada do quadrado médio do erro, (*s÷ns*) = razão das proporções sistemática (*s*) e não sistemática (*ns*) de *RMSE*; *r* = coeficiente de correlação; *d* = coeficiente de exatidão.



**Anexo III** Índice de área foliar (IAF) e altura do dossel de plantas, determinados por medição e por interpolação diária, para o cultivo de batata realizado no outono (a) e na primavera (b) de 2004 e no outono (c) de 2005, em Santa Maria-RS.



**Anexo IV** Umidade volumétrica do solo  $\theta$  verificada a 0,20 m e 0,02 m de profundidade e valores de precipitação pluviométrica, observados nos cultivos de batata realizados no outono (a) e na primavera (b), no ano de 2004, em Santa Maria-RS.