



LCE 306 – Meteorologia Agrícola

Prof. Paulo Cesar Sentelhas

Aula # 14

Clima x Doenças de Plantas

Efeito do binômio Temperatura-Umididade
na ocorrência de doenças

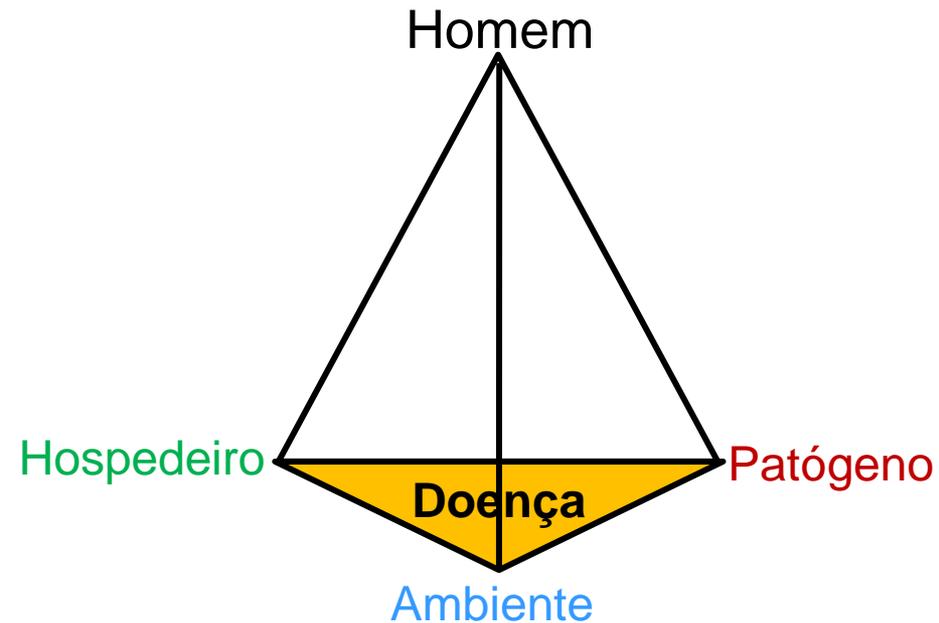
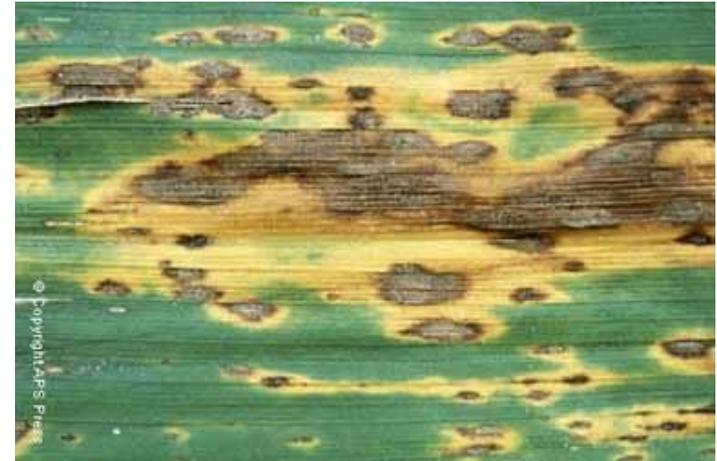
ESALQ/USP – 2018



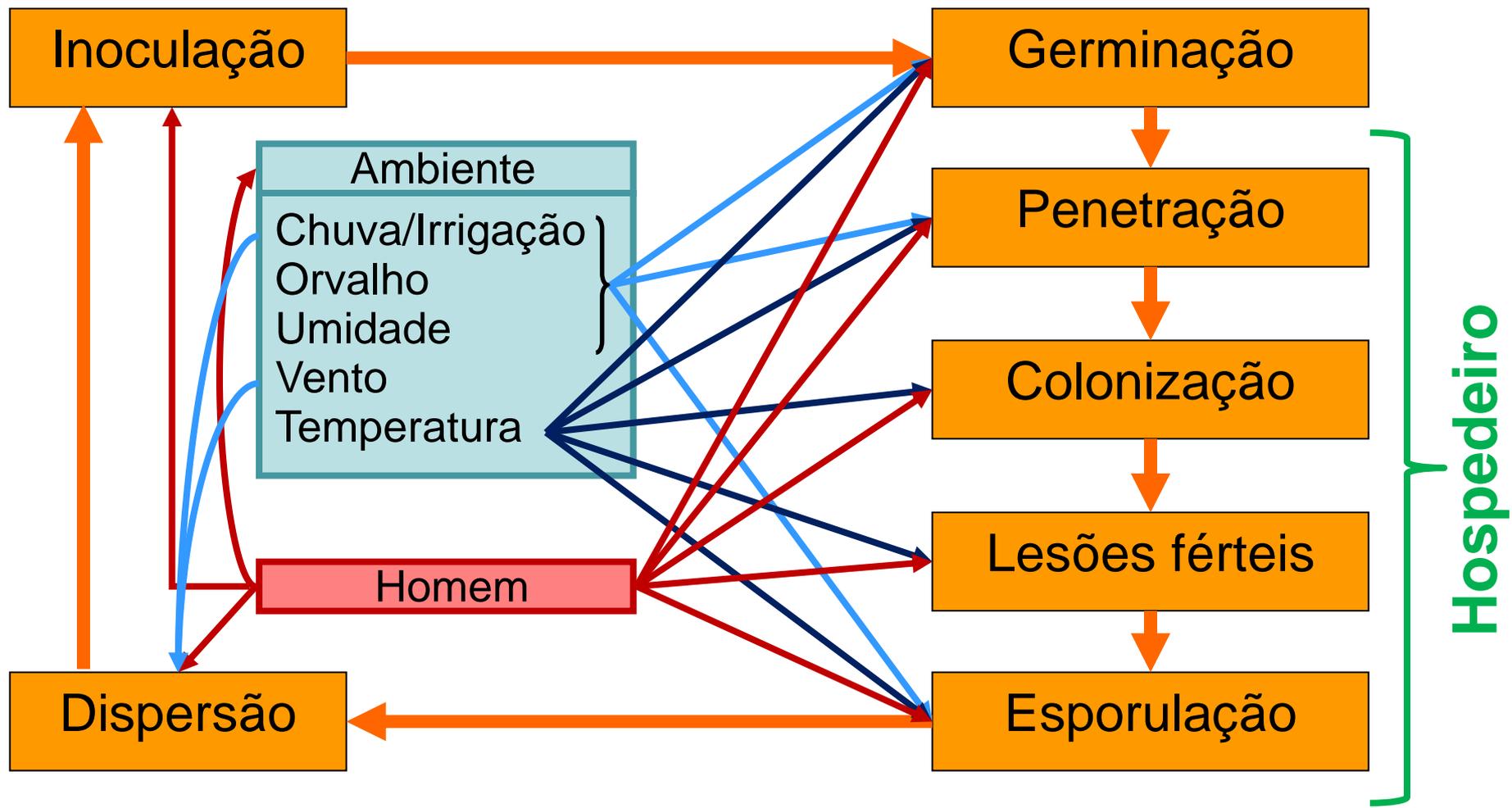
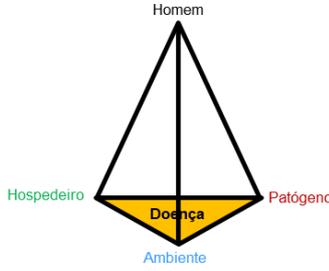
O ciclo das doenças de plantas e sua relação com as condições ambientais



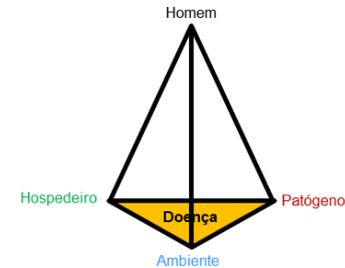
A ocorrência de doenças nas plantas depende da interrelação entre o patógeno, o hospedeiro e o ambiente



Interações Patógeno-Hospedeiro-Ambiente

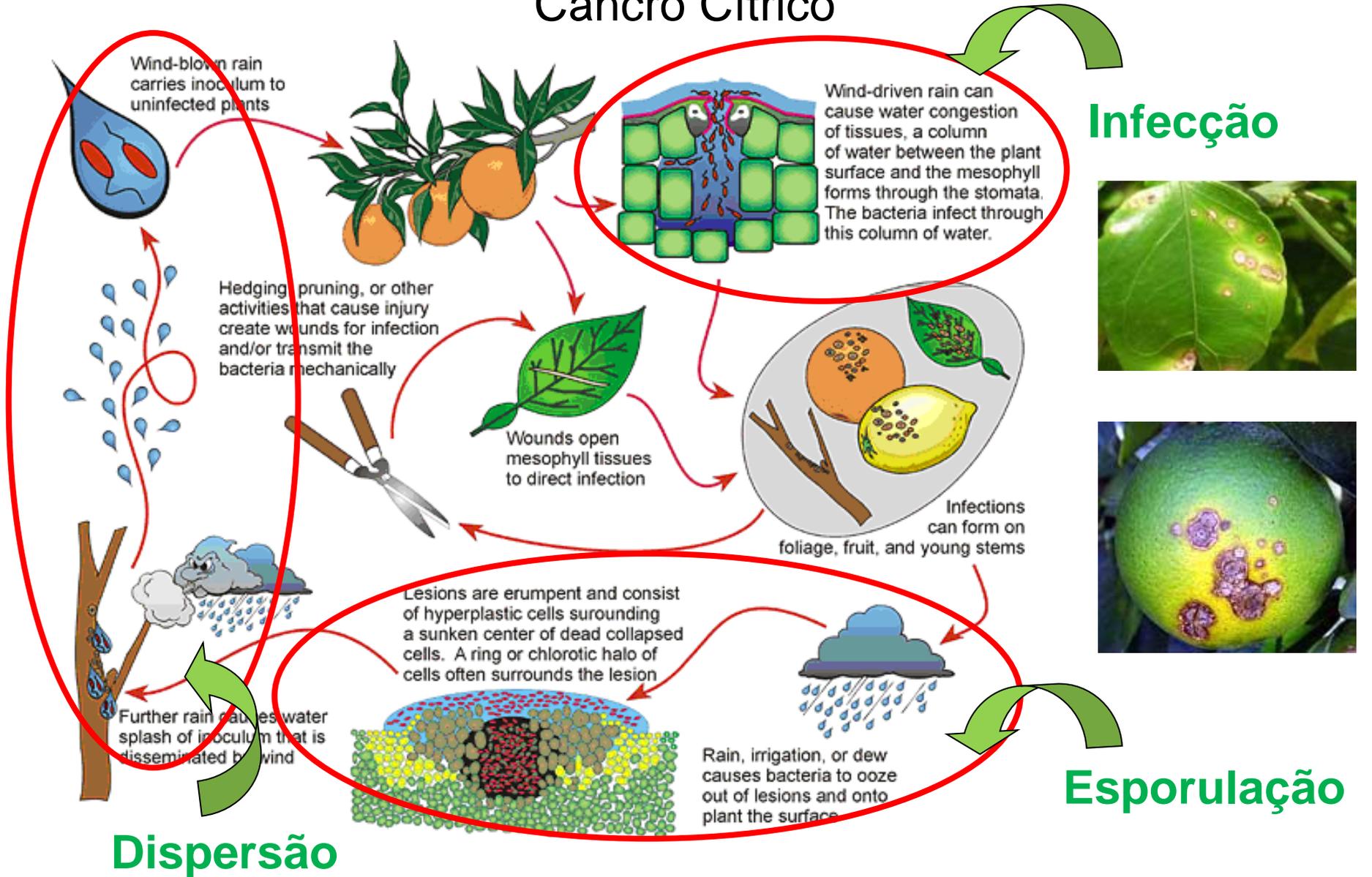


Variáveis do ambiente e seu efeito nas diferentes fases das doenças



Fase:	Variáveis meteorológicas:
Infecção (Germinação e penetração)	DPM, Temperatura
Colonização (Incubação, latência)	Temperatura da folha
Produção de inóculo (esporulação)	Umidade, temperatura, radiação solar
Dispersão	Vento, temperatura, UR%, água (orvalho, chuva, irrig.)
Sobrevivência do inóculo (esporos e outros)	Temperatura, UR% e radiação solar

Efeito do molhamento foliar em uma doença bacteriana Câncro Cítrico



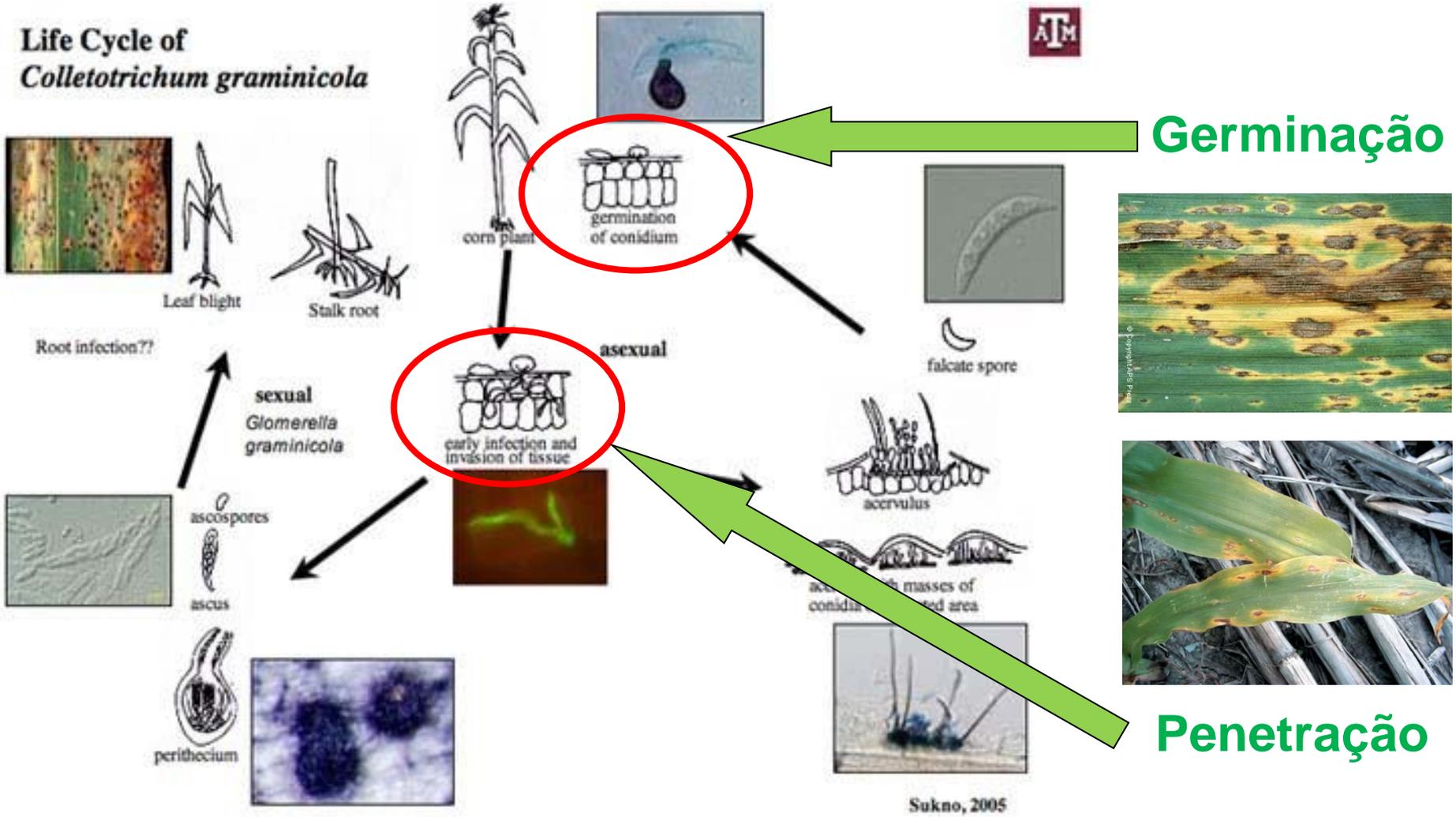
Infecção



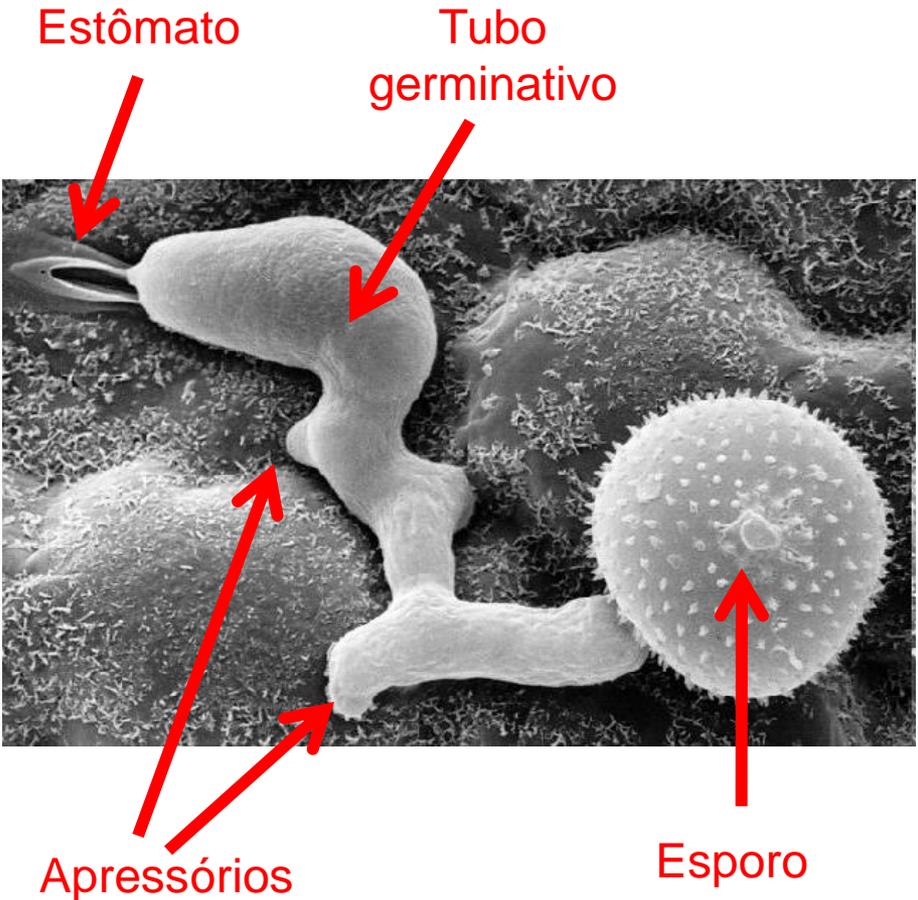
Esporulação

Dispersão

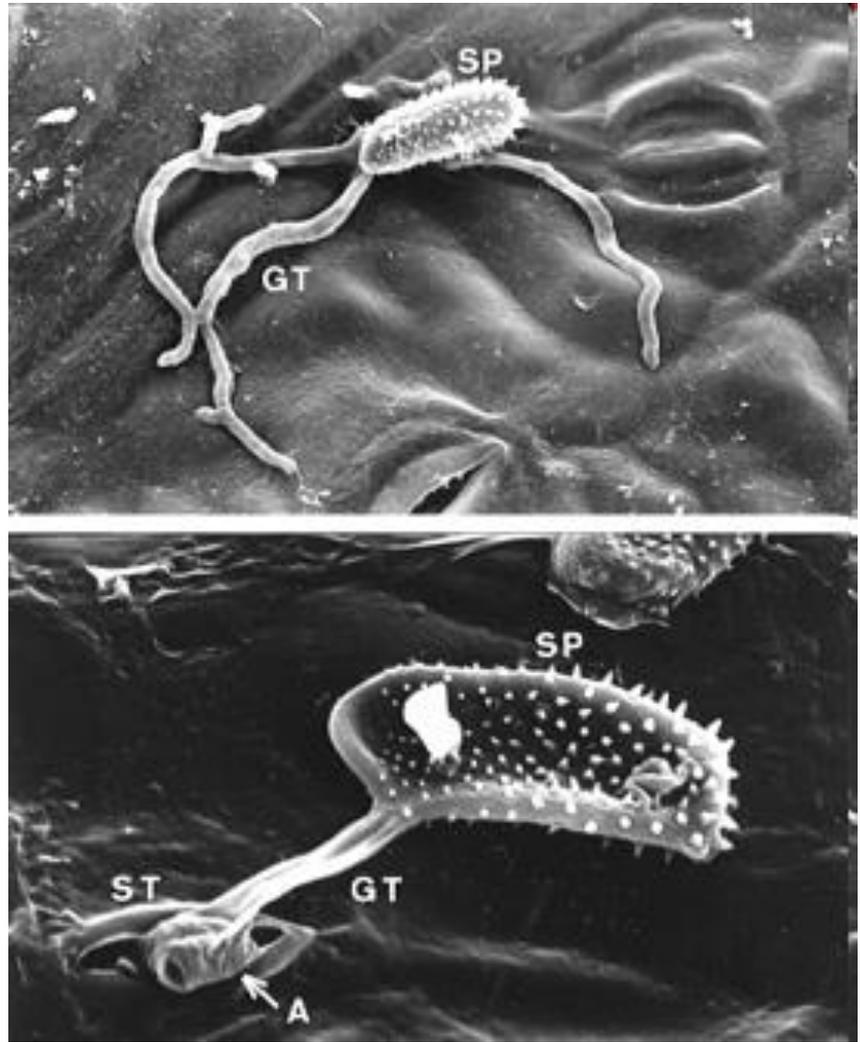
Efeito do molhamento foliar em uma doença fúngica Antracnose do Milho



Teliósporo (*Puccinia sp.*) com apressórios e tubo germinativo sobre uma folha



Urediniósporo (*Hemileia vastatrix*) produzindo estruturas de infecção, tubo germinativo ramificado e apressórios, 2 horas após inoculação.



Apesar do ambiente exercer influência em todas as fases da doença, as duas fases mais importantes são a germinação e a penetração, pois requerem condições ótimas de temperatura e duração do período de molhamento (DPM).

Requerimento de umidade	Alto Médio Baixo	Antracnose			
		Inoculação	Germinação	Colonização	Esporulação
		Penetração			
	Alto Médio Baixo	Míldio			
		Inoculação	Germinação	Colonização	Esporulação
		Penetração			
	Alto Médio Baixo	Ferrugem			
		Inoculação	Germinação	Colonização	Esporulação
		Penetração			
	Alto Médio Baixo	Oídio e Viroses			
		Inoculação	Germinação	Colonização	Esporulação
		Penetração			



Fatores (macro, topo e micro) climáticos que afetam a ocorrência e proliferação das doenças de plantas



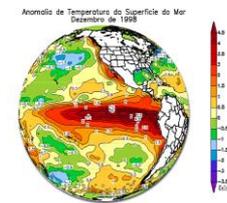
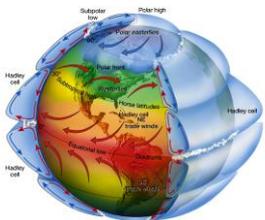
O clima e sua variabilidade são condicionados por diversos fatores, podendo ser esses classificados como
FIXOS e DINÂMICOS

Fatores FIXOS

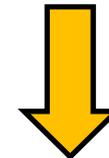


Associados à localização geográfica do local:

Latitude - Estações do ano,
Altitude, Continentalidade e
Sistemas Predominantes
(massas de ar, frentes, etc)



Fatores DINÂMICOS



Associados à variabilidade da circulação da atmosferas nas diferentes escalas espaciais (global, zonal e local), levando as condições meteorológicas a variar no tempo (var. interanual) e no espaço (var. espacial)

Macroclima e sua Variabilidade

Fatores Macroclimáticos Permanentes

This block contains three diagrams illustrating permanent macroclimatic factors. On the left, two globes show latitude lines from the North Pole to the South Pole, with the Equator in between. The middle diagram shows a cross-section of a mountain range with labels for 'Latitude' and 'Altitude', and lists various biomes: Polar ice and snow, Tundra (herbs, lichens, and mosses), Coniferous forests, Deciduous forests, Tropical forests, Mountain ice and snow, Tundra (moss, lichen, herbs), Coniferous forests, Deciduous forests, and Tropical forests. On the right, a 3D diagram shows a landscape with an 'Ocean', 'Wind', and a 'Desert'. A line graph above it shows temperature variations across five points (1-5). To the far right is a world map showing isotherms (lines of equal temperature).

+

Fatores Macroclimáticos Variáveis

This block contains five diagrams illustrating variable macroclimatic factors. From left to right: 1) A diagram of atmospheric circulation showing pressure systems (Subtropical high, Polar high, Equatorial low, Subtropical low) and wind patterns (Haber's cell, Hadley cell). 2) A satellite image of a large-scale weather system (cyclone). 3) A diagram titled 'El Niño / La Niña' showing two globes with color-coded temperature anomalies in the Pacific Ocean. 4) A world map showing wind patterns with red and blue arrows indicating different directions. 5) A satellite image of South America with a diagram of oceanic currents (OCEANIC PROXIES and OCEANIC ANOMALIES) overlaid.

=

Clima e sua Variabilidade

This block contains three figures related to climate and its variability. On the left is a map of Brazil showing climate zones with a legend: 'CLIMA' (Temperado úmido, Semi-árido, Clima ameno, Tropical úmido, Semi-árido, Tropical úmido, Semi-árido, Tropical úmido, Semi-árido) and 'MONTANHOLO' (Temperado úmido, Semi-árido, Clima ameno, Tropical úmido, Semi-árido). In the middle is a bar and line graph for 'Precipitação (mm)' from 1941 to 1989, showing 'Prec. Anual média' (annual average precipitation) as blue bars and 'Média móvel de 5 anos' (5-year moving average) as a black line. On the right is a bar and line graph for 'Pindorama, SP' showing monthly 'Average Temp (°C)' as a red line and 'Rainfall (mm)' as blue bars.

Fatores do Topoclima

Configuração
do terreno



As baixadas são mais frias e úmidas, favorecendo a ocorrência de doenças de plantas

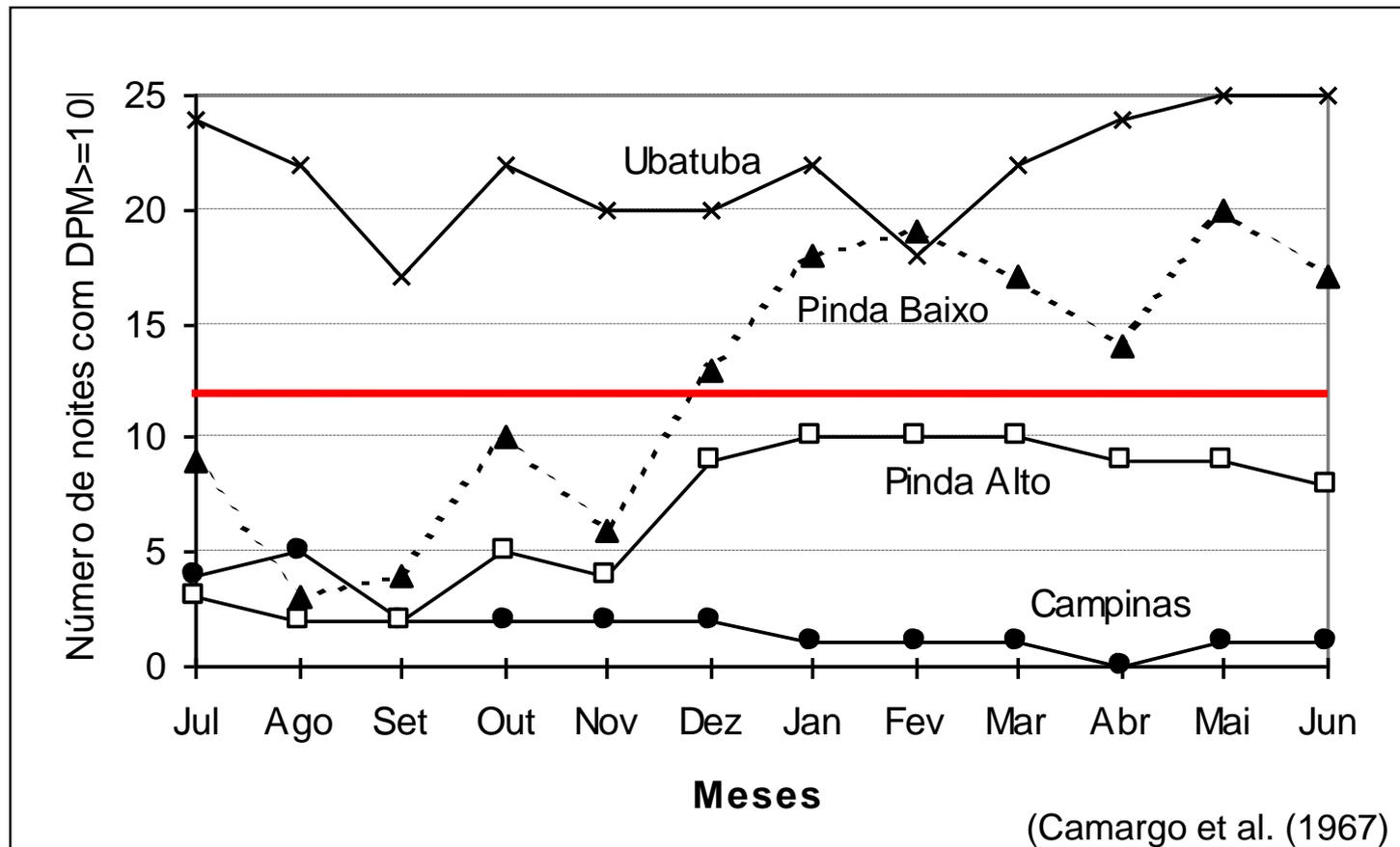


Exposição do terreno



Os terrenos voltados para o sul (face sul) são mais frios e úmidos, favorecendo a ocorrência de doenças de plantas

Efeito do Macro e Topoclima na Ocorrência de Doenças



Só foi observada a doença (Mal das folhas em seringueira) quando houve mais de 12 noites, no mês, com $DPM \geq 10$ horas

Fatores do Microclima



Estufas plásticas



Viveiro coberto com tela



Sistemas Agroflorestais



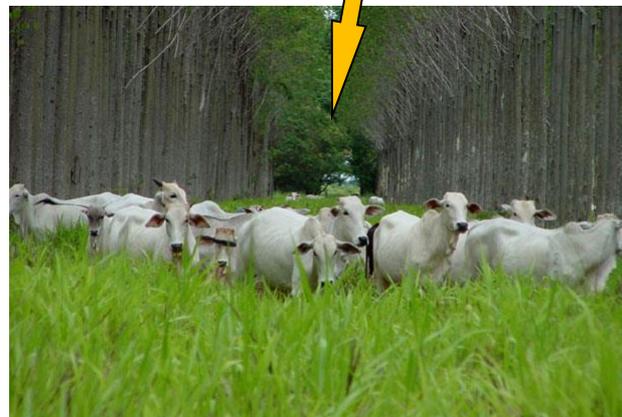
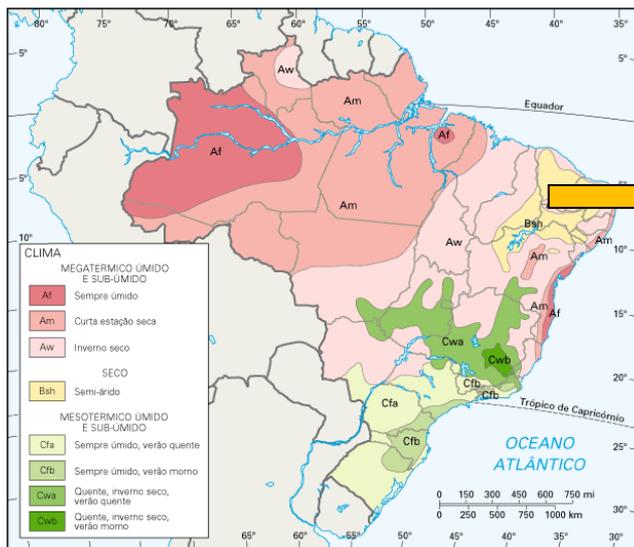
Mata virgem



Mata em regeneração



As três escala espaciais dos fenômenos meteorológicos são extremamente importantes para a ocorrência de doenças já que os microorganismos causadores delas serão condicionados pelo ambiente. O ambiente para os patógenos é fruto da interação das três escalas: macro, topo e micro, pois dentro de um mesmo macroclima poderão existir diferentes topoclimas e nestes diferentes microclimas

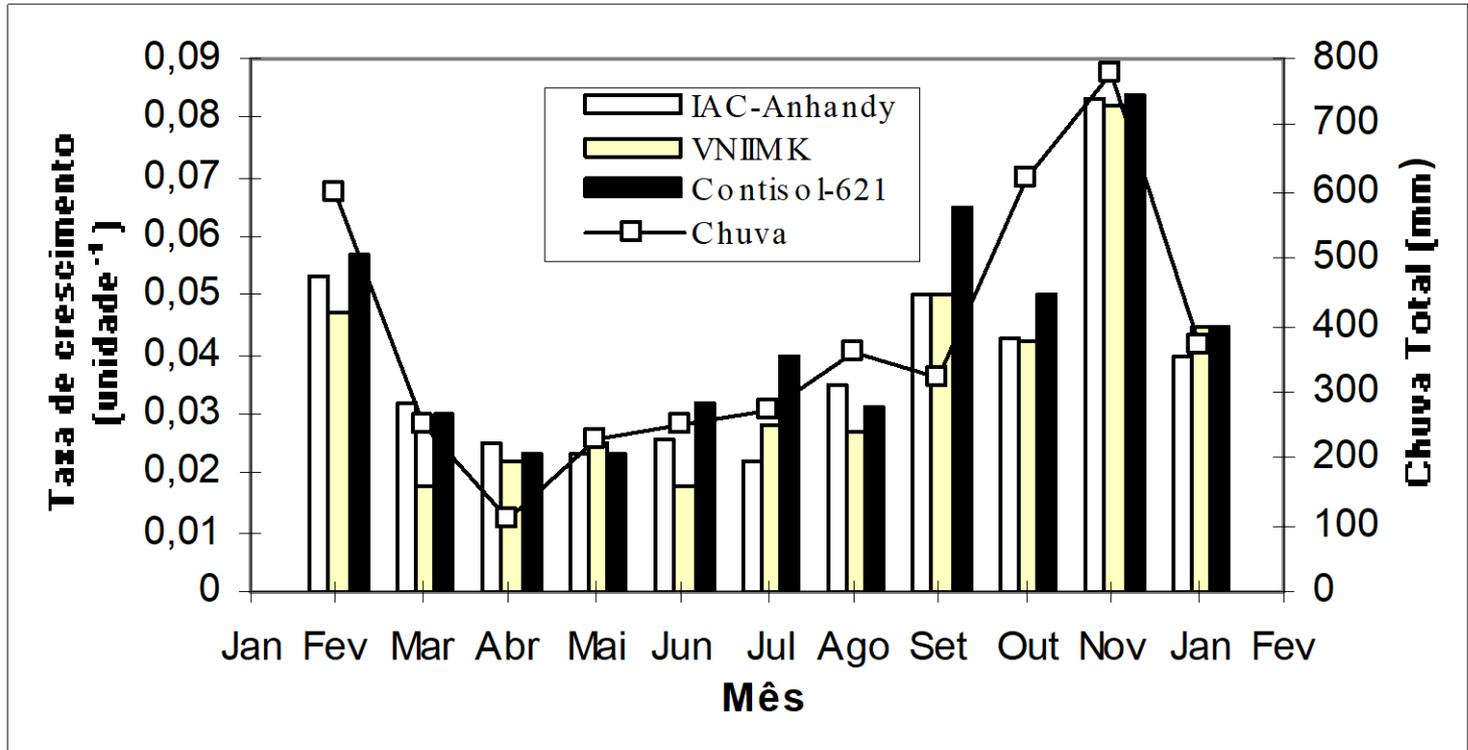




Práticas agrícolas e seus efeitos no microclima e na ocorrência de doenças



Época de Semeadura

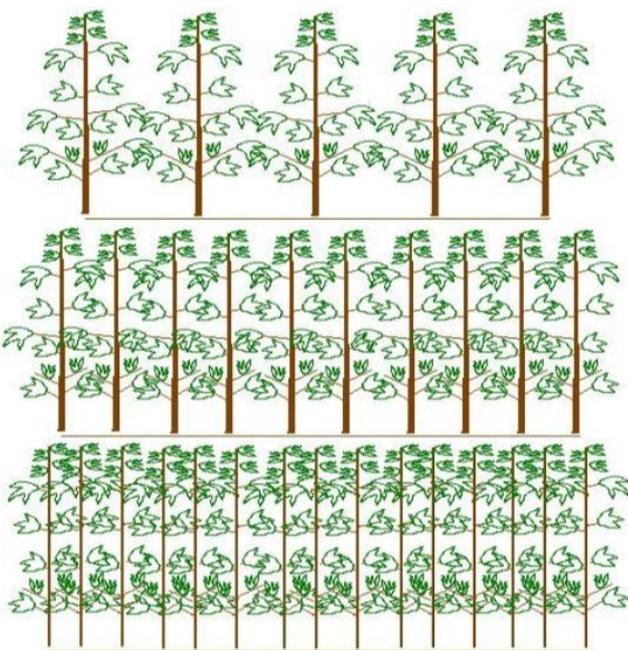




Irrigação – Sistema x microclima

Fator	Sulco	Inundação	Gotejo	Aspersão
Porcentagem do solo umedecido	20	90	30	100
Aumento da DPM em folhas e frutos	Não	Não	Não	Sim
Diminuição da temperatura das plantas	Não	Não	Não	Sim
Efeito sobre os fungicidas	Não	Não	Não	Lavagem

Adensamento de Plantio



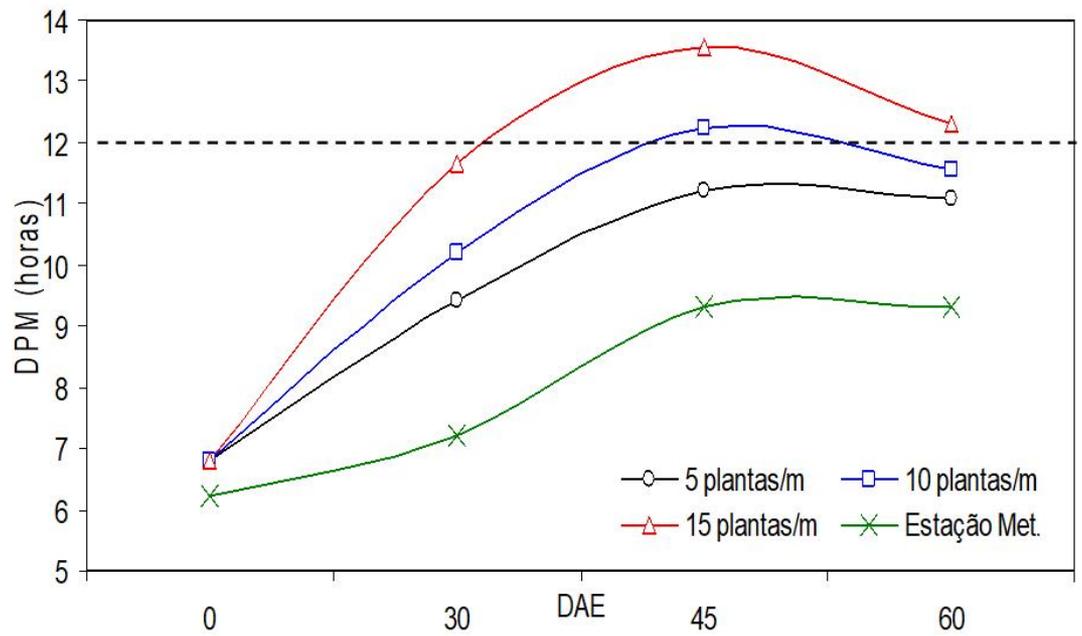
← 5 plantas / m linear

← 10 plantas / m linear

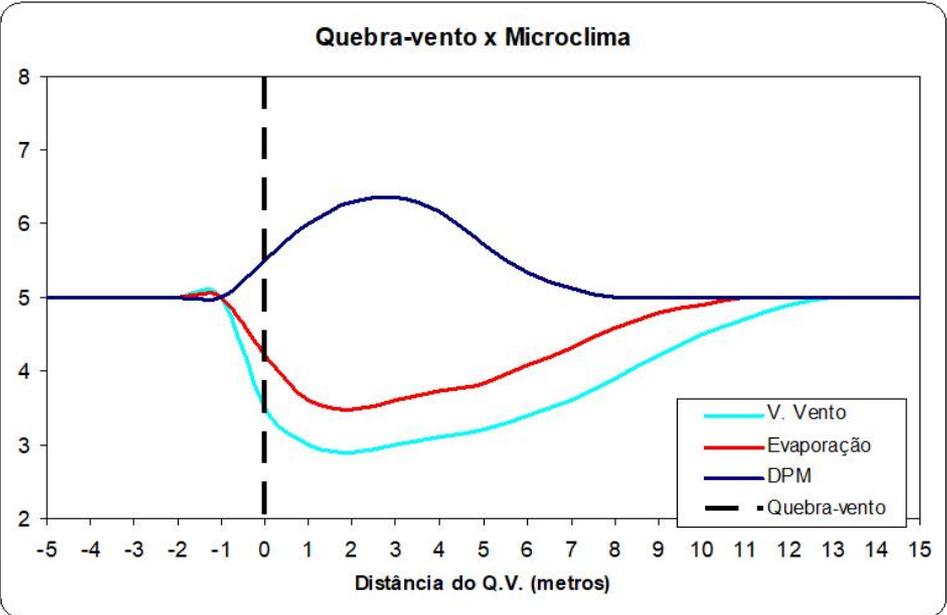
← 15 plantas / m linear



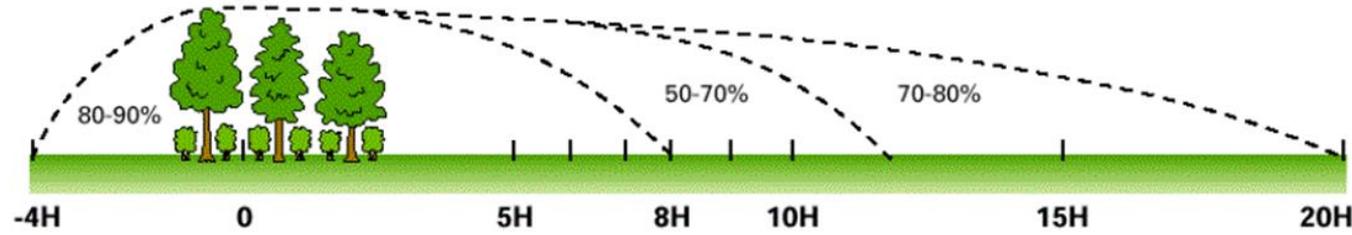
Algodão



Quebra-ventos



Direção do vento

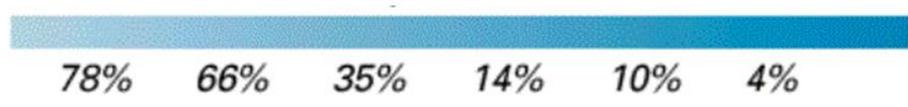


Zonas de redução da velocidade do vento antes e após o QV

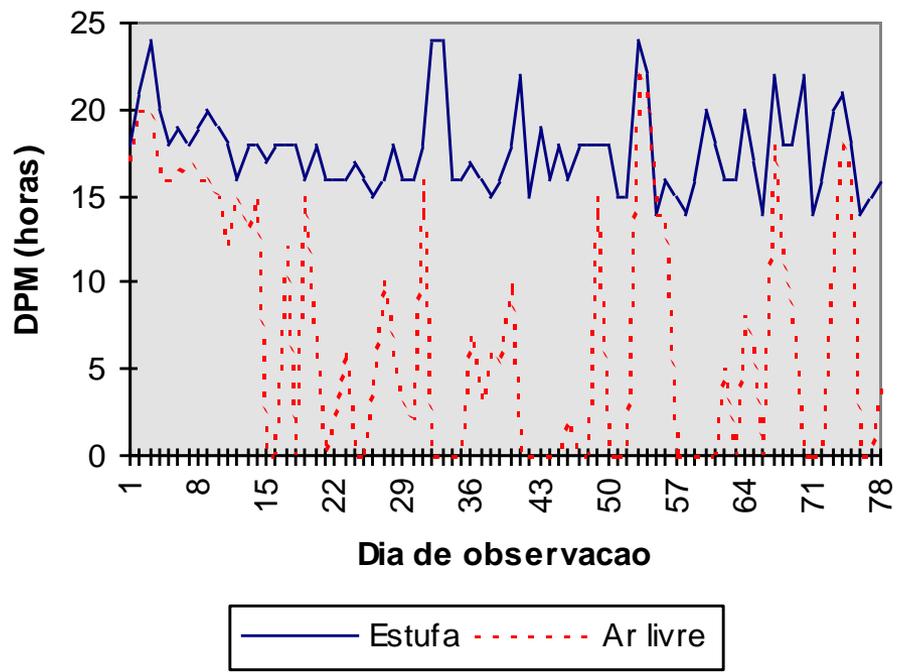
Distância do QV



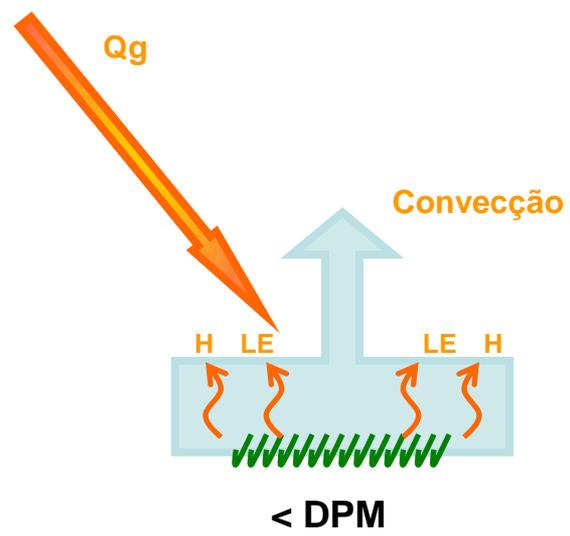
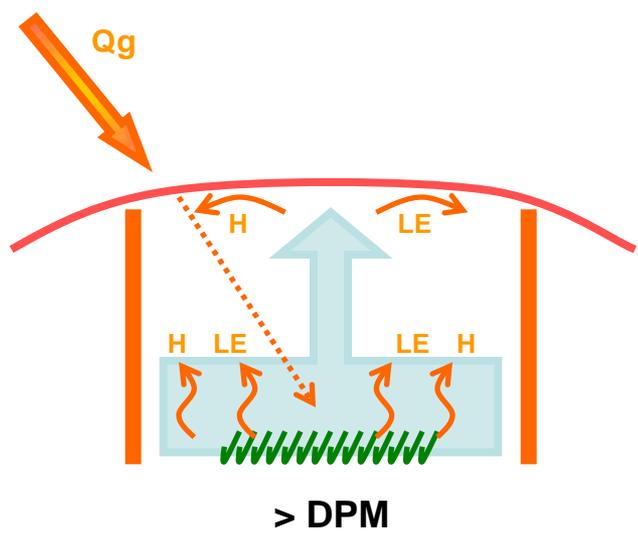
% de redução da vel. do vento



Cultivo Protegido - Estufa



Estufas fechadas - aumento da temperatura e da DPM



Cultivo Protegido – Túnel Alto



Túneis altos - efeito guarda-chuva, reduzindo a DPM e a incidência de doenças



Ano Agrícola	Com cobertura plástica			
	Antracnose cacho	Míldio cacho	Podridões	Mancha das folhas
2006/07	3	3	3	37
2007/08	0	0	3	46

Ano Agrícola	Sem cobertura plástica			
	Antracnose cacho	Míldio cacho	Podridões	Mancha das folhas
2006/07	24	28	61	35
2007/08	2	2	52	51

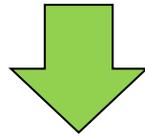


Medidas e estimativas das principais variáveis ambientais que afetam a proliferação das doenças de plantas



Dentre as variáveis meteorológicas, as que mais afetam a ocorrência e proliferação das doenças de plantas são:

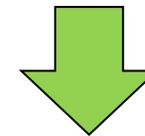
Temperatura do ar



T_{ar}



Duração do Período de Molhamento Foliar

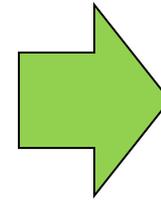


DPM



Medida da temperatura do ar

Uso de termômetros, termopares e termistors

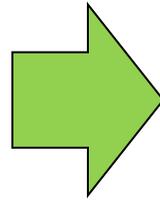


Medida relativamente simples



Medida da DPM

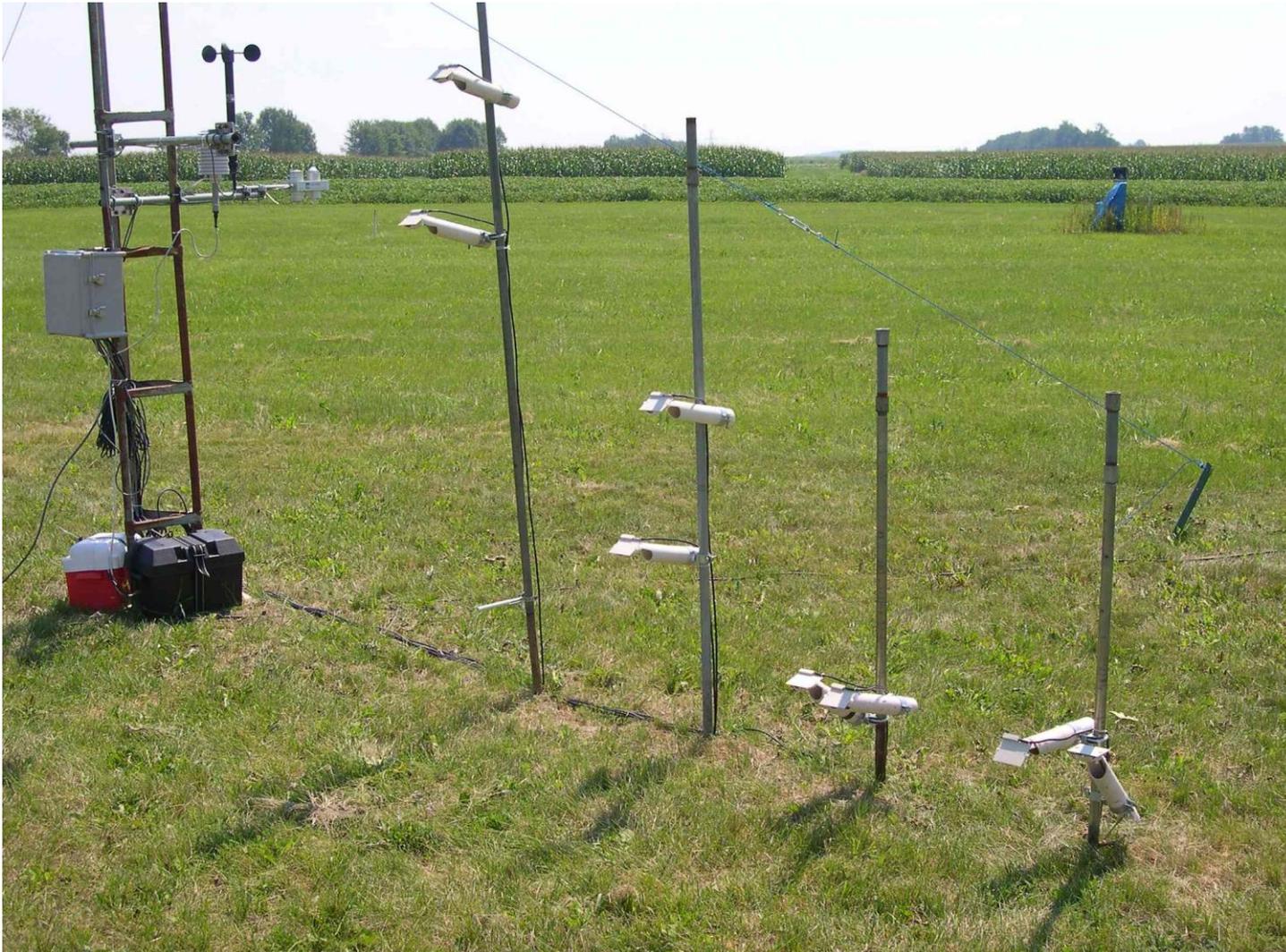
Sensores eletrônicos



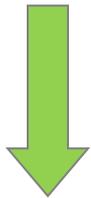
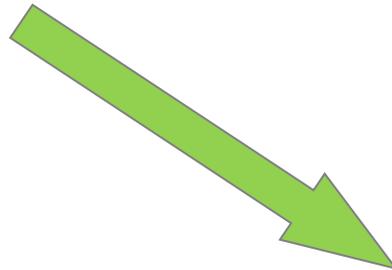
Medida mais complexa, pois depende não só das condições meteorológicas, mas também das características da cultura.



Teste da Confiabilidade dos Sensores de DPM



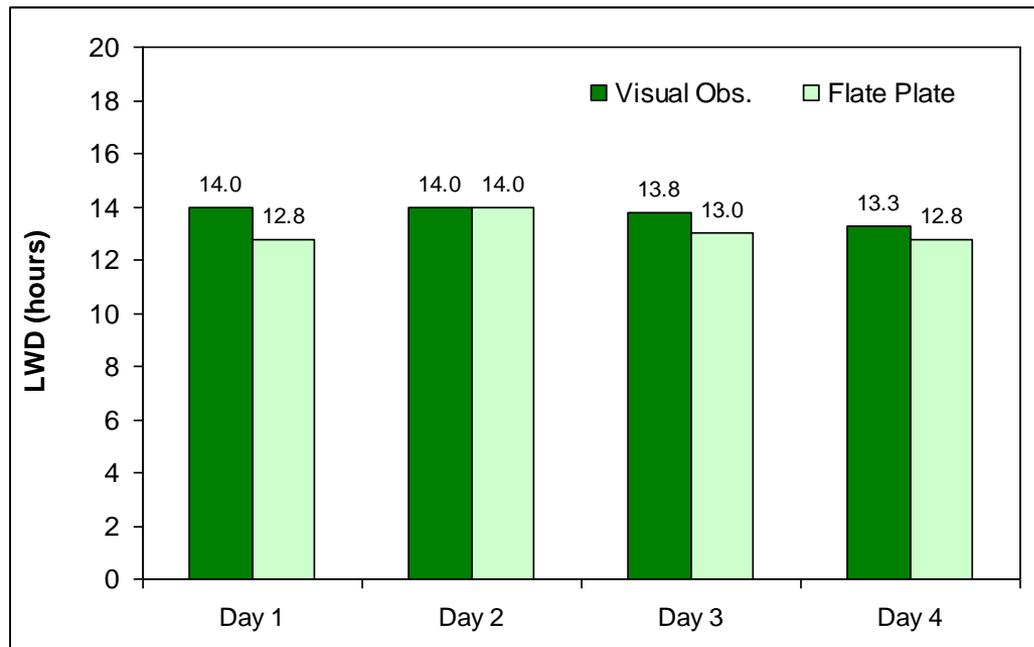
Observação Visual
da formação e
secamento do
orvalho



Teste do Sensor de DPM

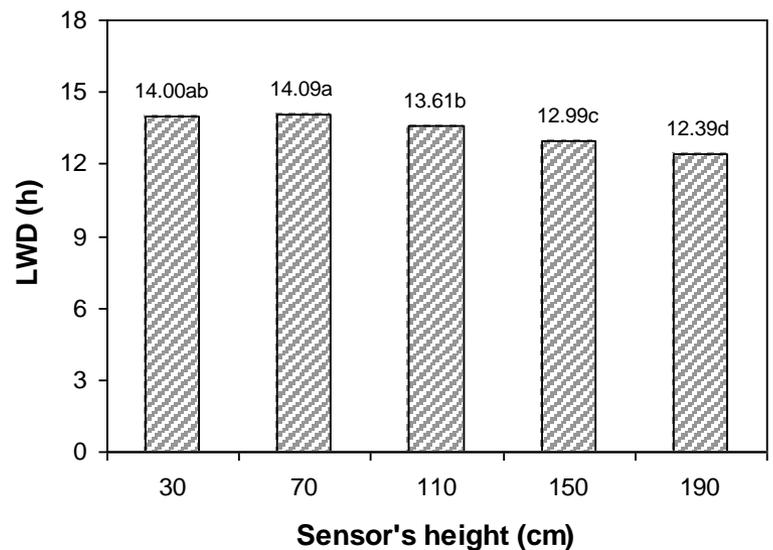


X

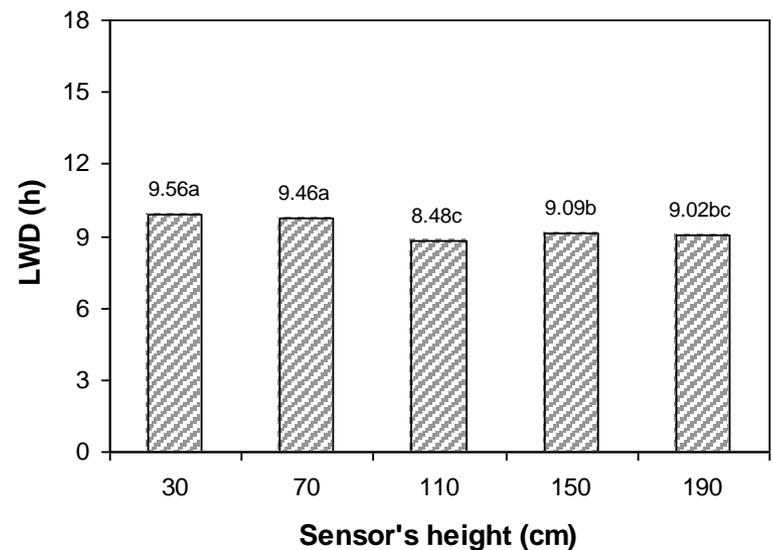


ME = MAE = 37 min

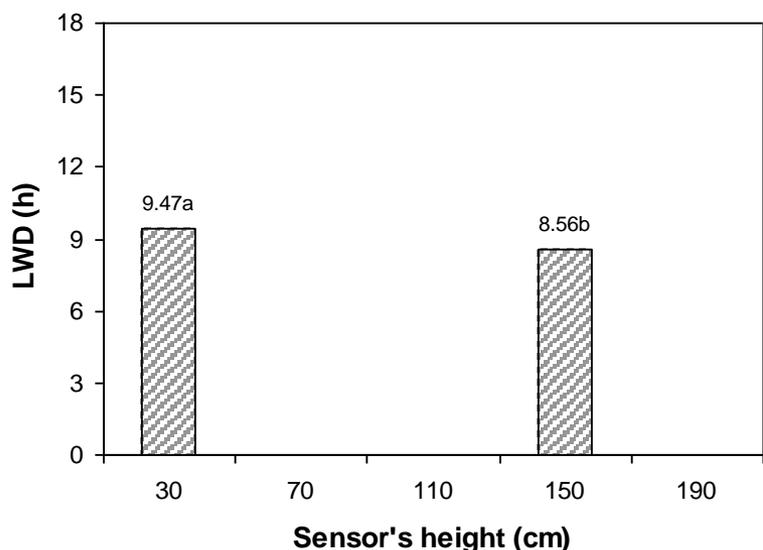
a) Elora, ON, Canada



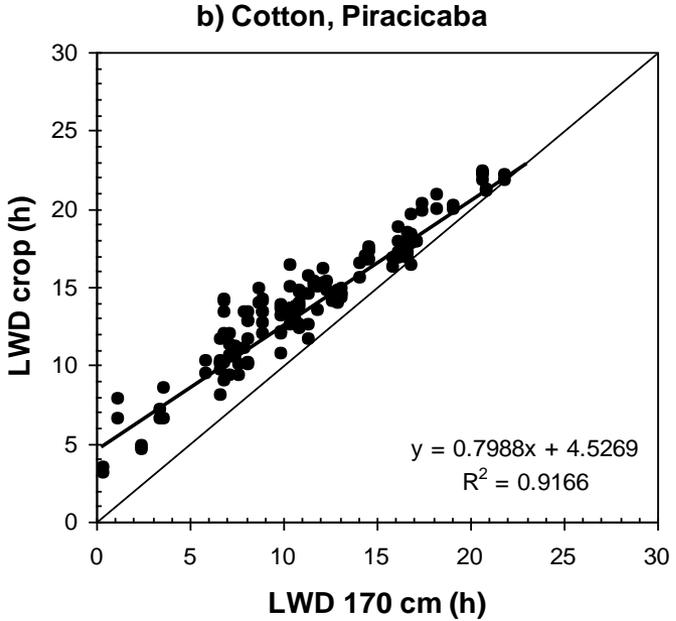
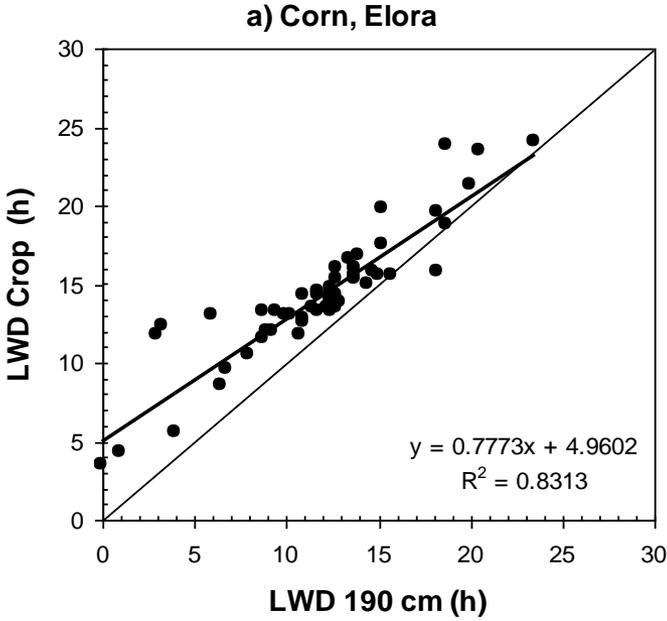
b) Piracicaba, SP, Brazil



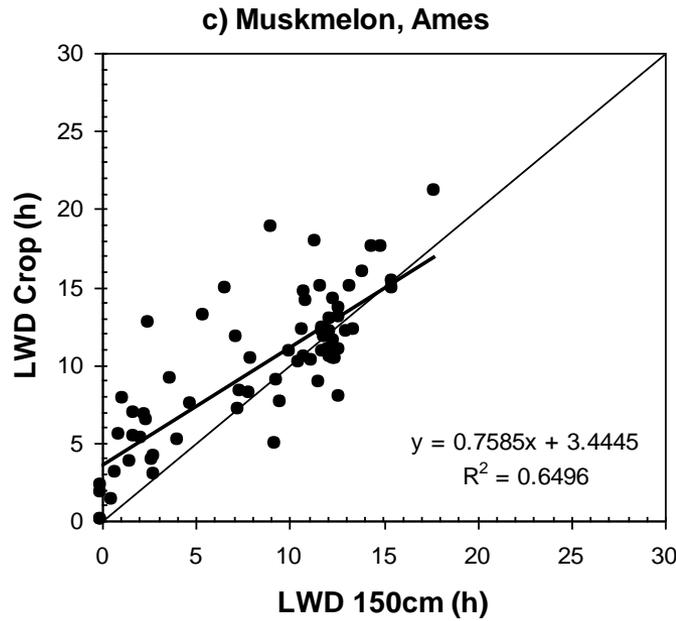
c) Ames, IA, U.S.A.



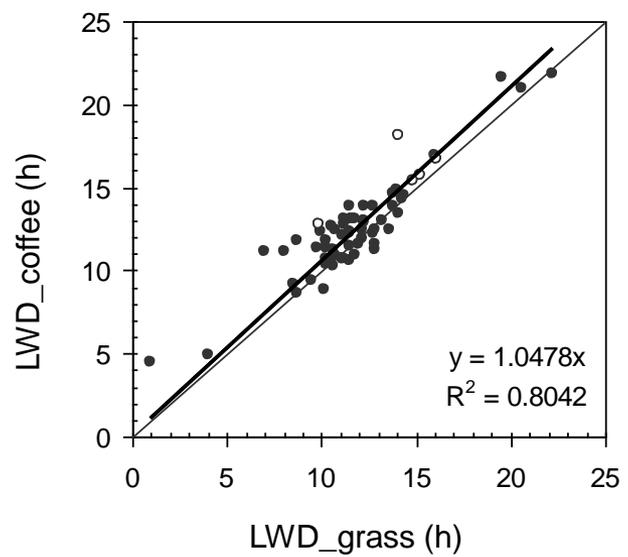
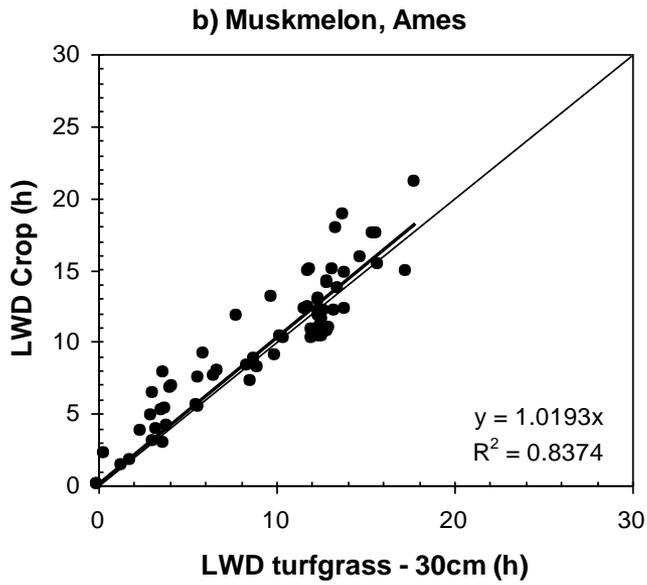
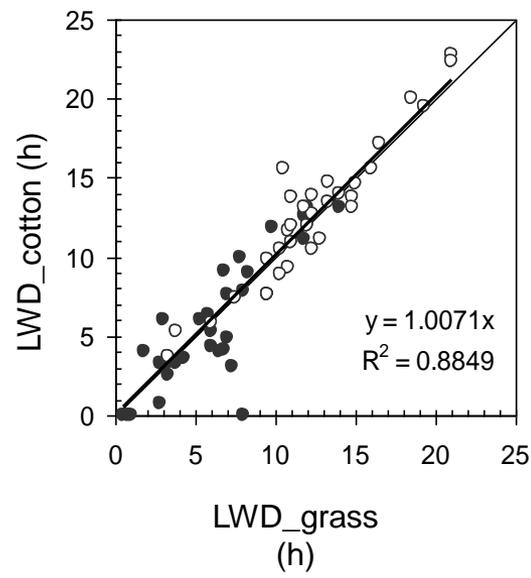
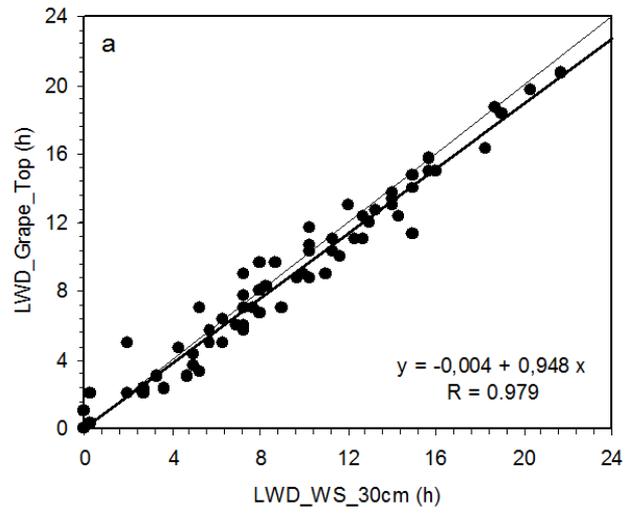
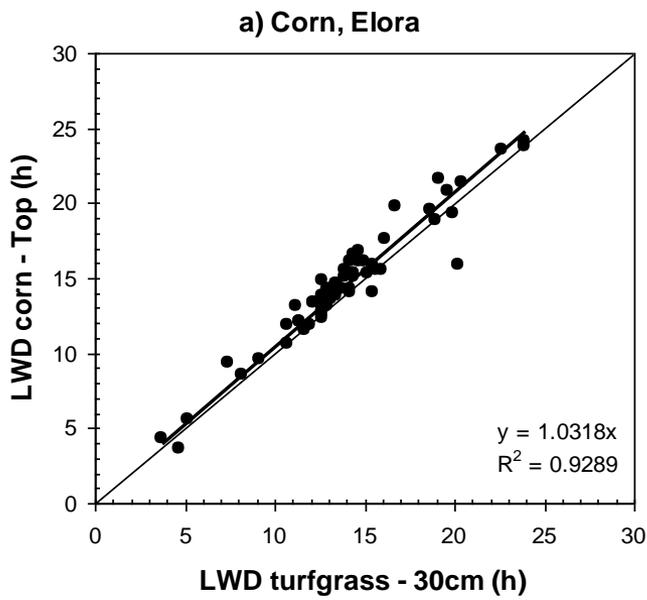
Efeito da altura do sensor na DPM



DPM Cultura
X
DPM gramado
(Altura do abrigo)



DPM cultura x DPM gramado (30 cm)



Qual sensor é melhor?



Piracicaba, SP - Brasil

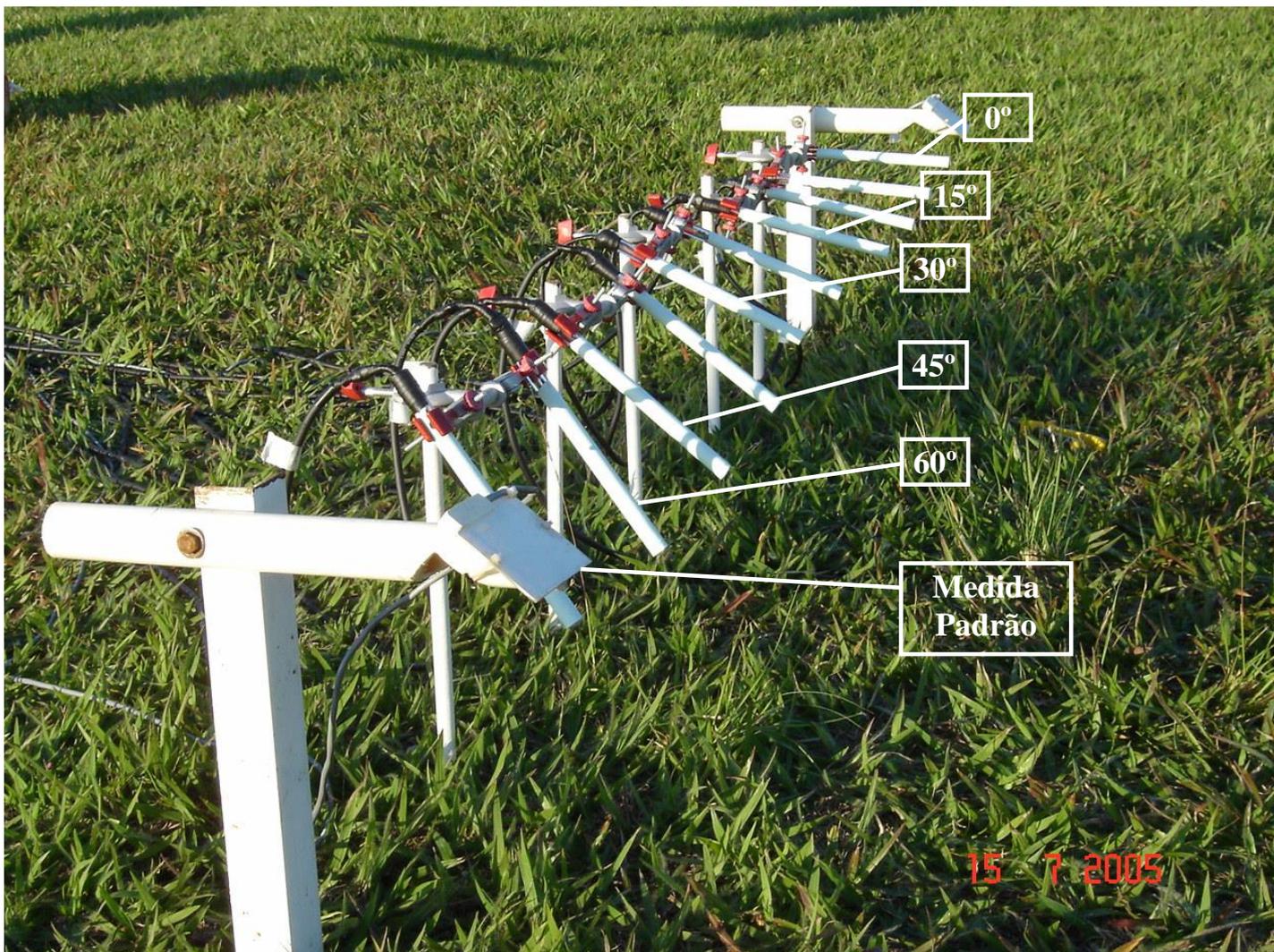
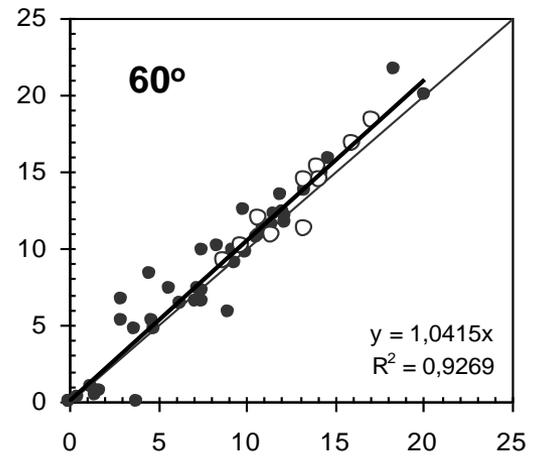
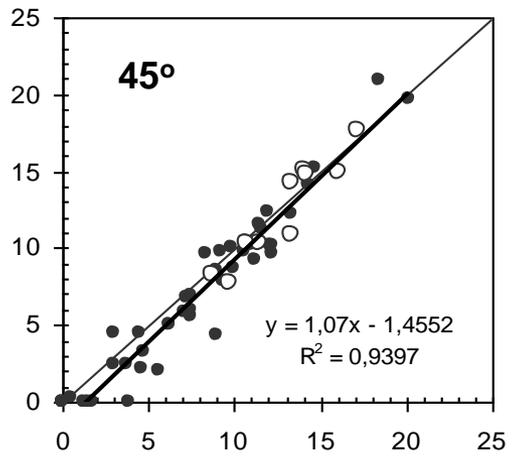
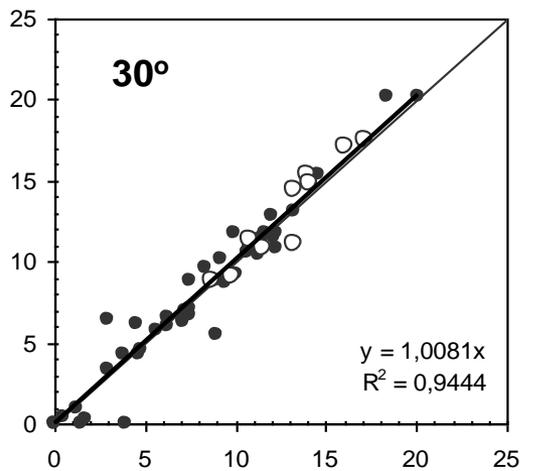
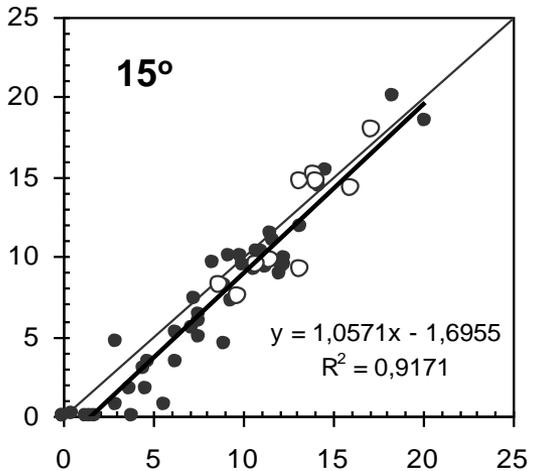
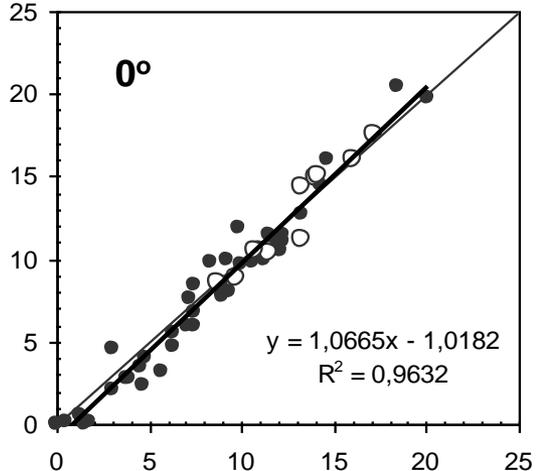
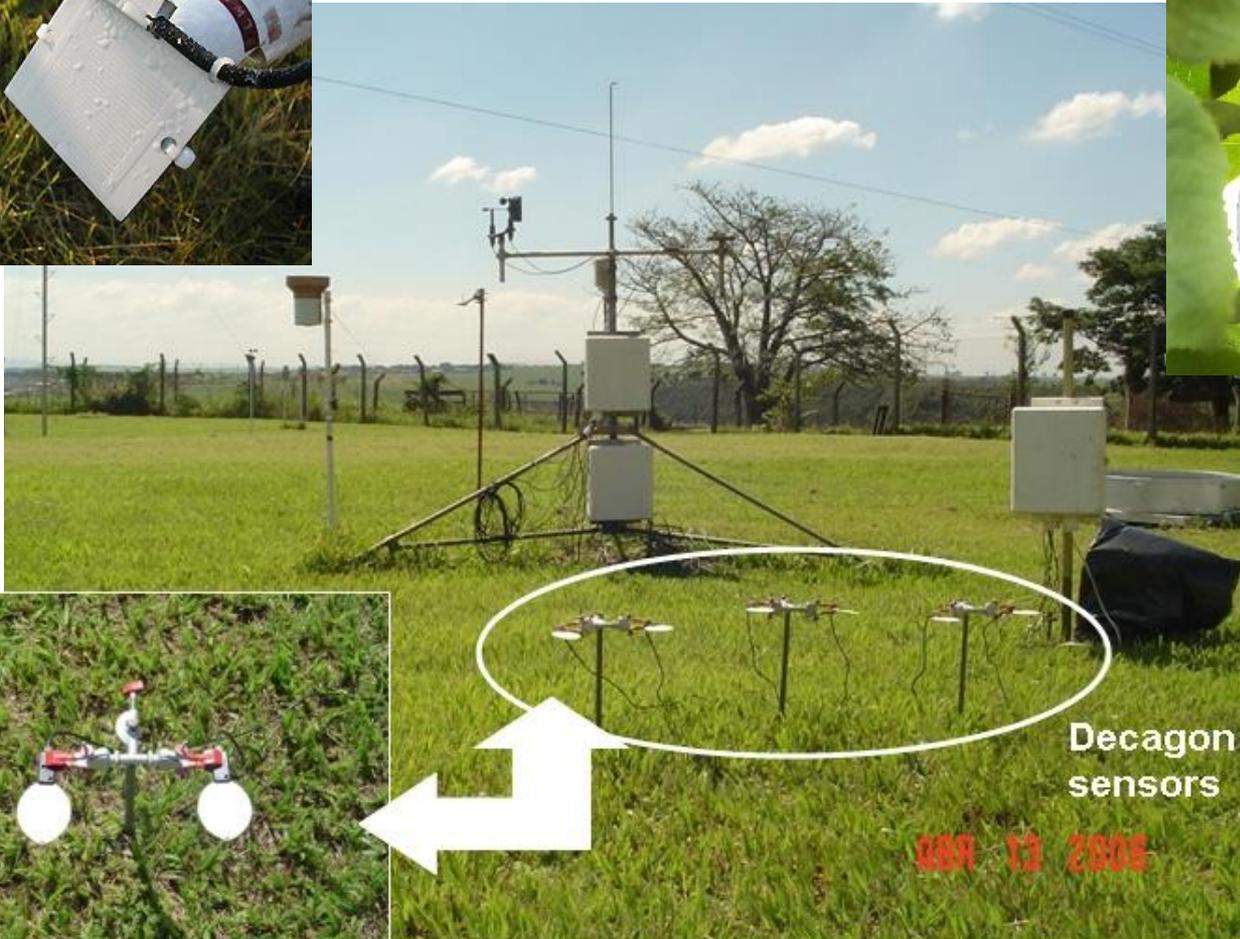


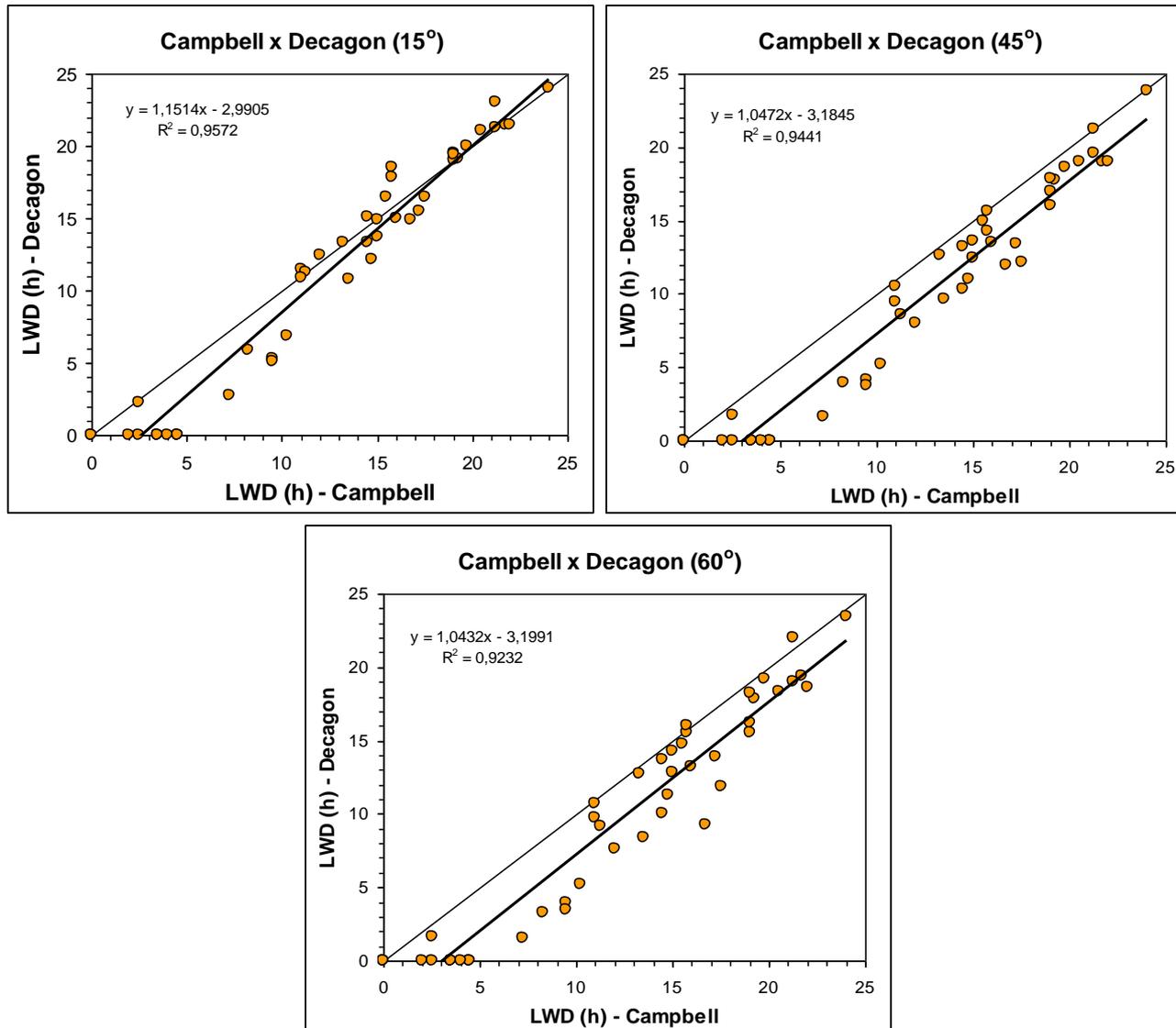
Figura 1 – Sensores cilíndricos instalados em diferentes ângulos em relação a horizontal e sensor de placa instalado a 45°. Todos os sensores de DPM foram instalados a uma altura de 30 cm acima da superfície gramada. Piracicaba, SP, 2005

Sensor Cilíndrico x Sensor de Placa



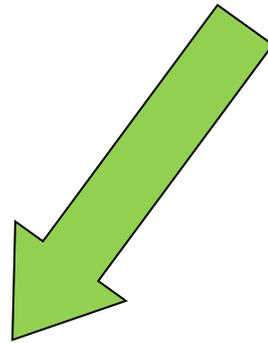
Piracicaba, SP - Brasil





O ângulo de instalação teve efeito na DPM medida pelo sensor Decagon

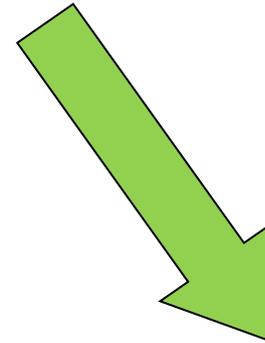
Como os sensores de medida da DPM são pouco utilizados, a opção passa a ser estimar a DPM com dados observados nas estações meteorológicas.



Modelos Empíricos

São aqueles baseados na relação existente entre a DPM e a umidade relativa do ar (UR):

Quanto $>$ a UR, $>$ a DPM



Modelos Físicos

São aqueles baseados nos princípios físicos da formação do orvalho e da evaporação do orvalho e/ou chuva. Requer diversas variáveis meteorológicas, entre as quais o saldo de radiação

Modelos Empíricos de Estimativa da DPM

a) Número de Horas com $UR \geq 90\%$ (NHUR $\geq 90\%$)

Molhamento presente quando $UR \geq 90\%$

b) Depressão do Ponto do Orvalho (DPO)

$$DPO = T_{ar} - T_o$$

Molhamento presente \Rightarrow DPD $< 1.8^\circ\text{C}$

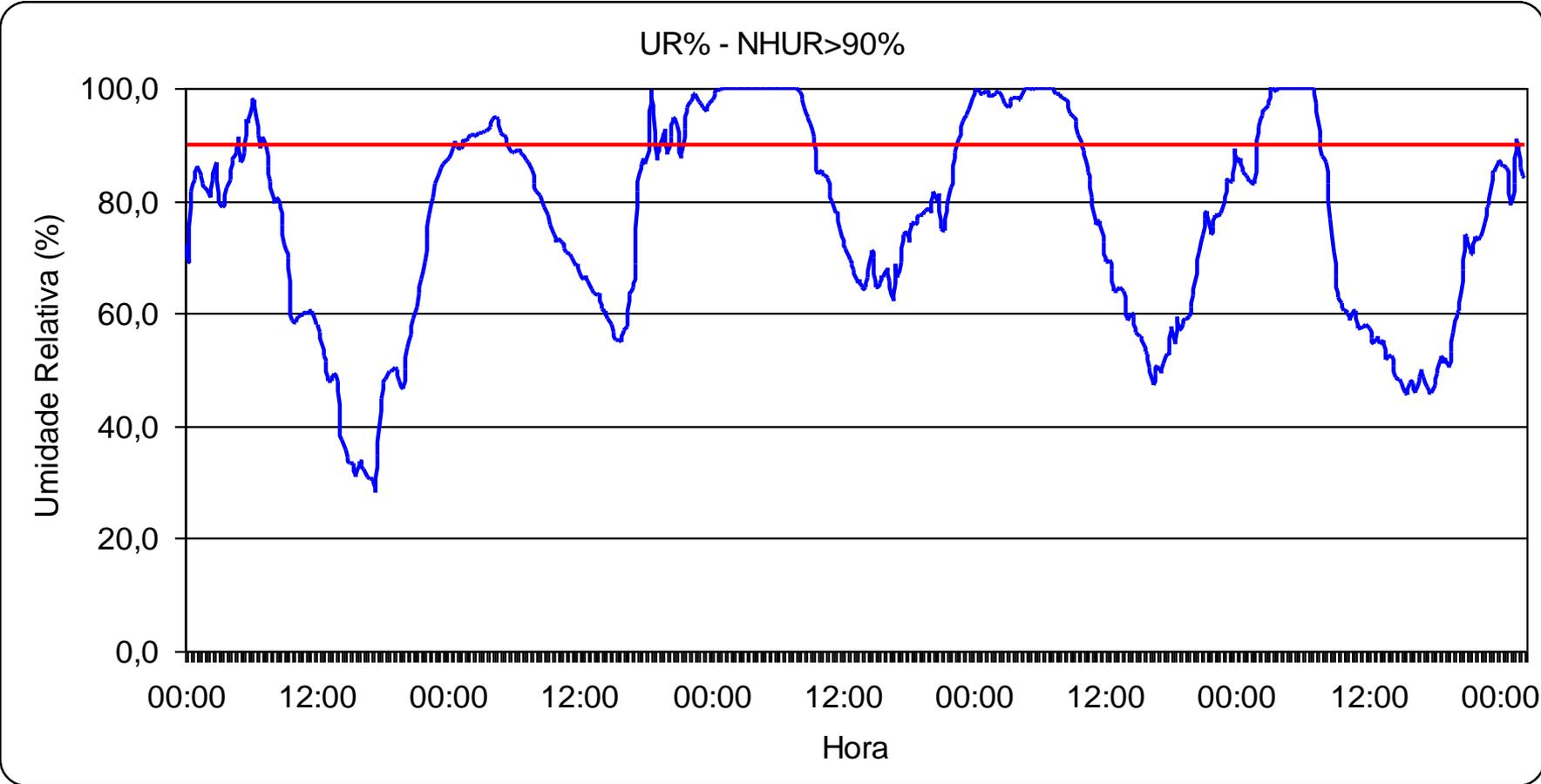
Secamento do molhamento \Rightarrow DPO $> 2.2^\circ\text{C}$

c) Limiar Extendido (EXT_RH)

Molhamento presente \Rightarrow UR $> 87\%$

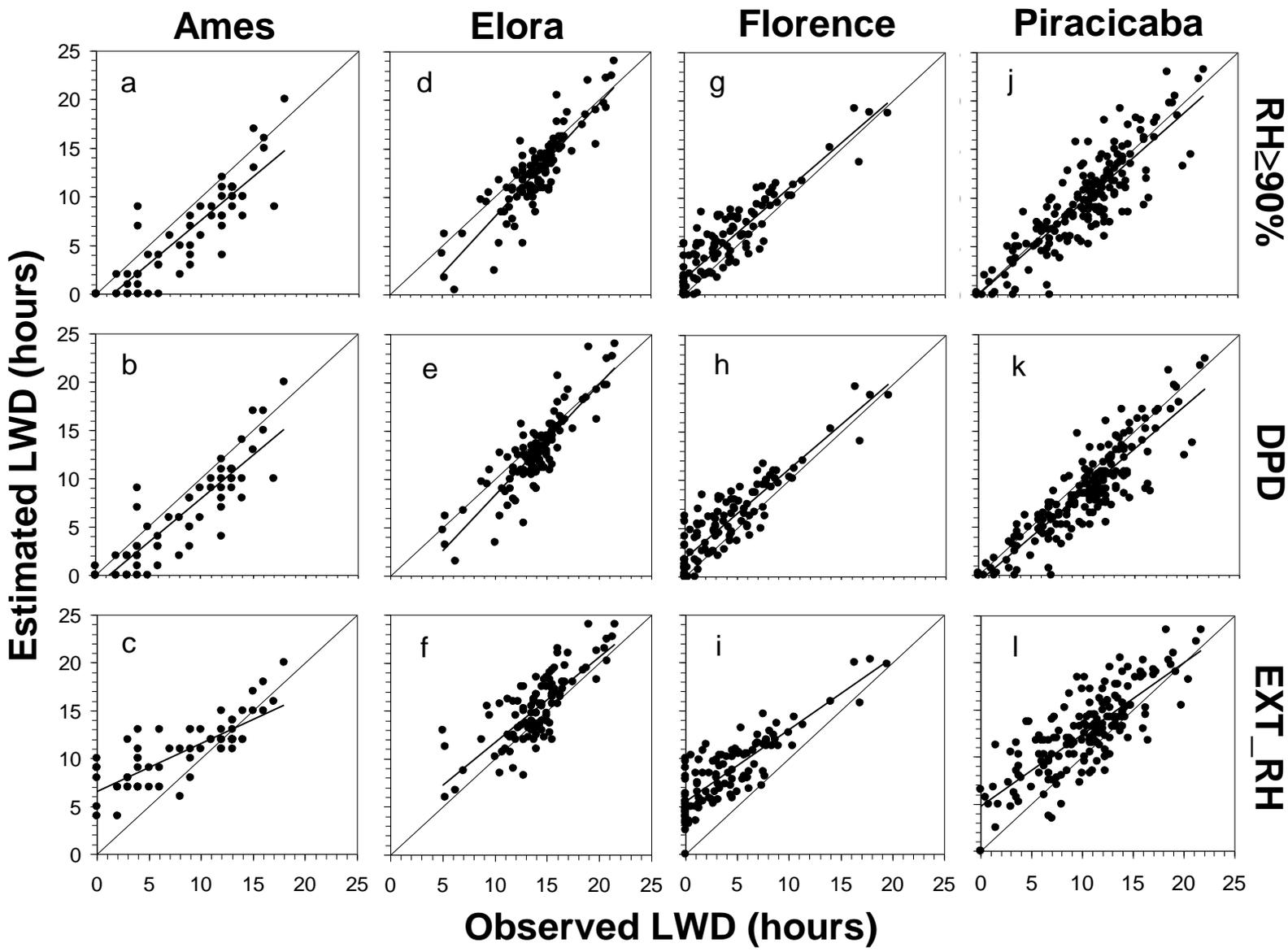
Molhamento ausente \Rightarrow UR $< 70\%$

UR entre 70 and 87%, molhamento está presente quando UR aumenta + que 3% por 30 min e começa a evaporar quando UR diminui - que 2% por 30 min



Noite1	Noite 2	Noite 3	Noite 4	Noite 5
2 horas	4,5 horas	14 horas	11,5 horas	6 horas

Teste de Modelos Empíricos da DPM



Modelo Físico de Estimativa da DPM

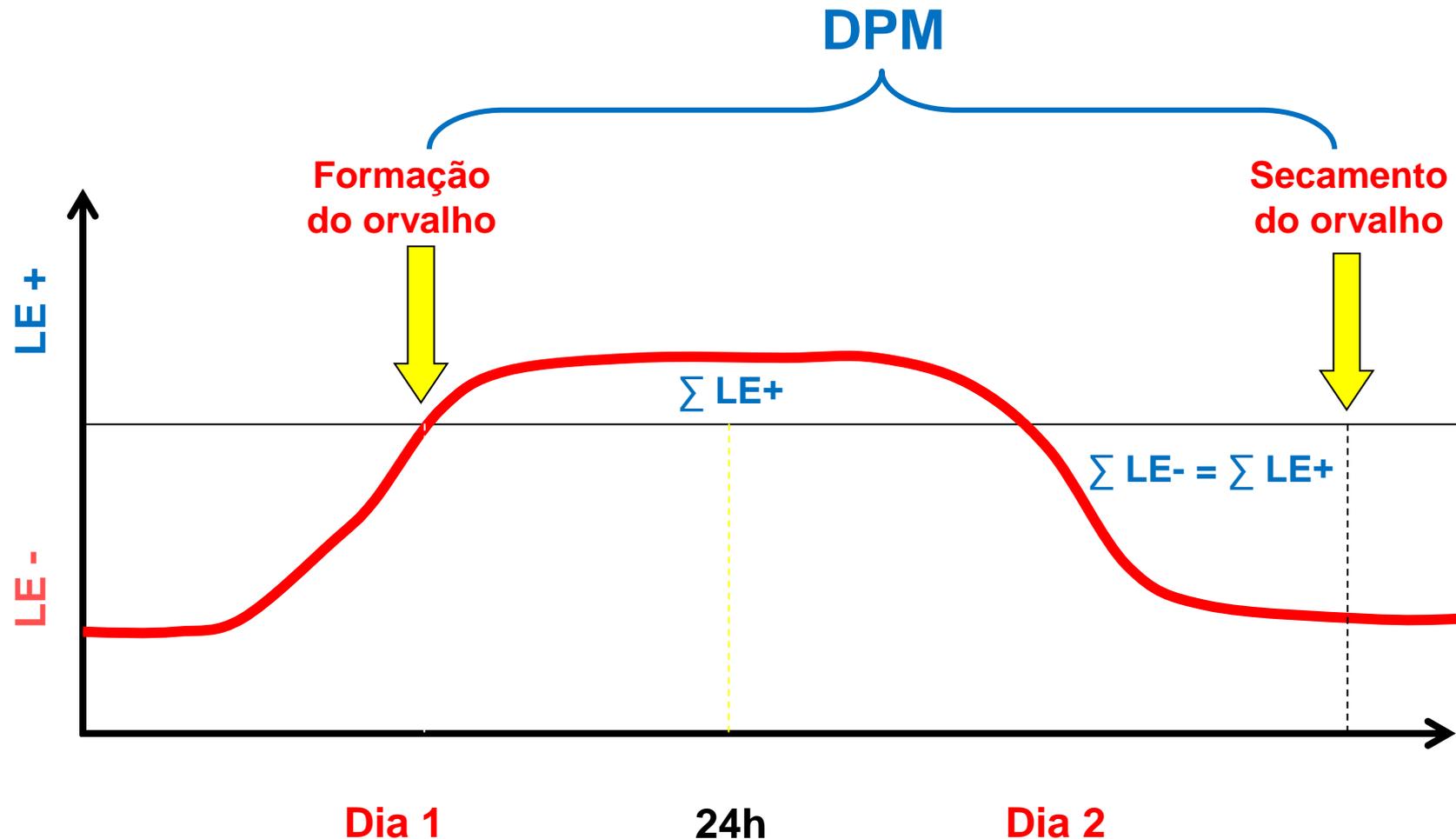
Modelo de Penman-Monteith



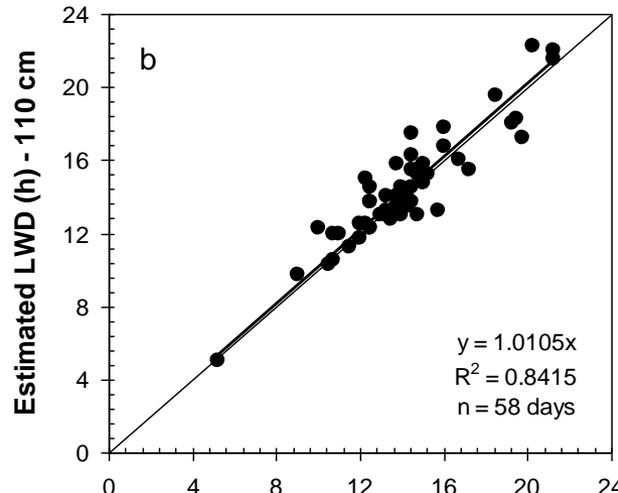
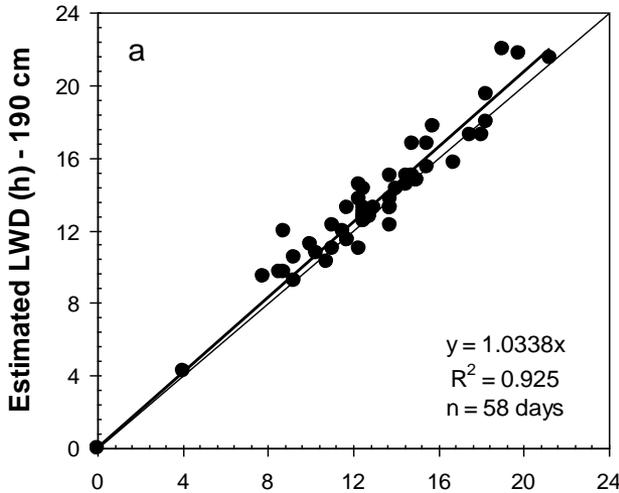
$$LE = - \frac{\left\{ s Rn + \left[\frac{1200 (es_{Ta} - ea)}{rb} \right] \right\}}{(s + \gamma^*)}$$



Esse modelo considera que o molhamento se inicia quando $LE > 0$, e o secamento do molhamento se dá quando o total de água condensado durante a noite é consumido pela evaporação equivalente ($\sum LE < 0$).

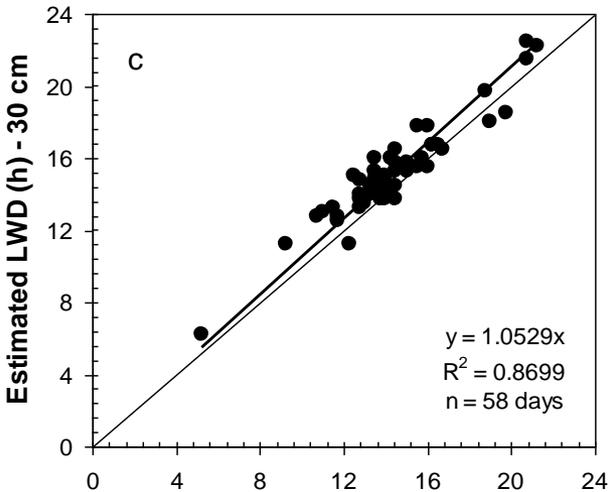


DPM estimada PM x DPM medida sensor



ME = +0.47 h
MAE = 0.76 h

ME = +0.20 h
MAE = 0.89 h



ME = +0.78 h
MAE = 1.05 h



Modelagem Agrometeorológica de Doenças de Plantas

Sistemas de Alerta e Análises de Riscos Climáticos



Efeito Combinado Temperatura x DPM

→ DPM = Fator limitante

- Ocorre ou não ocorre

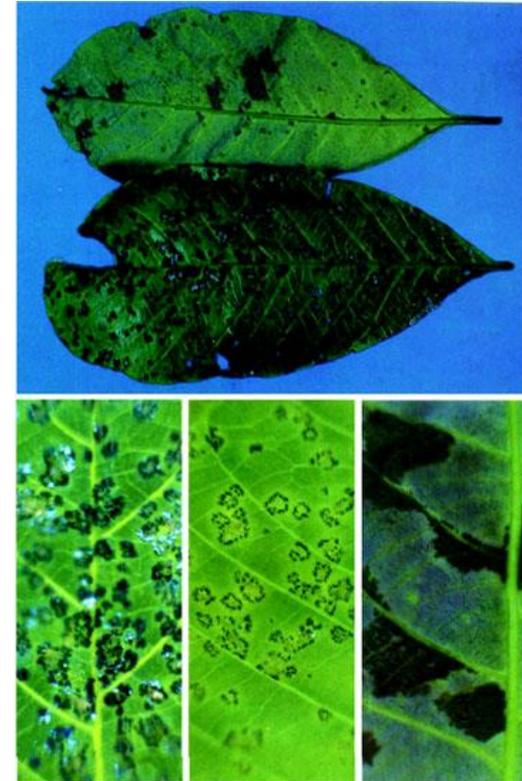
→ Temperatura = Fator moderador / intensificador

- Com que velocidade ocorre

Exemplo 1:

Mal das Folhas da Seringueira (*Microcyclus ulei*):

- T = 24°C, DPM = 6h para ocorrer infecção
- T = 20°C, DPM > 8h para ocorrer infecção
- T = 16°C, DPM = ?? Não ocorre infecção

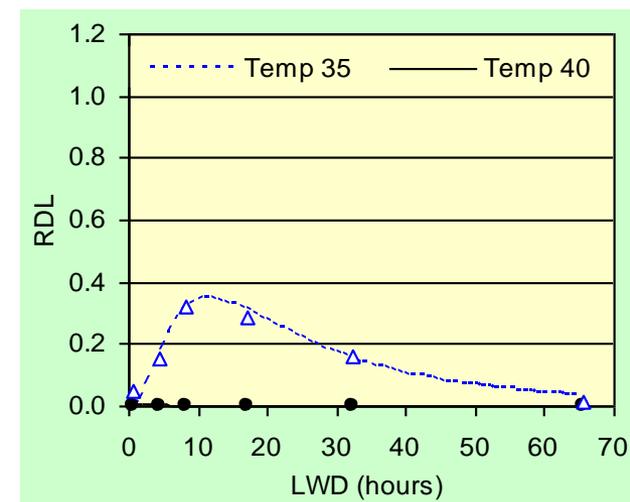
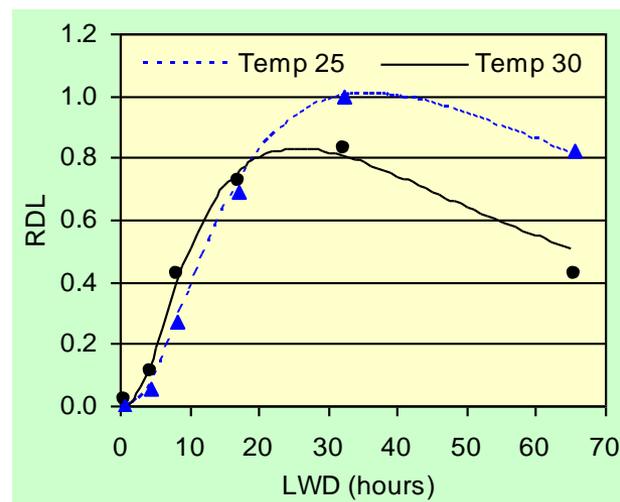
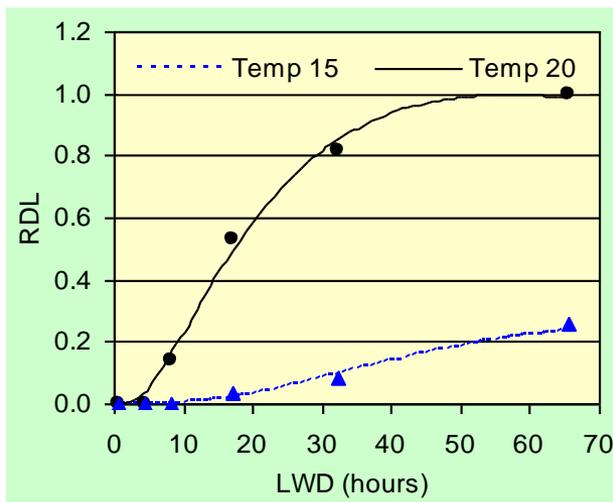


Efeito Combinado Temperatura x DPM

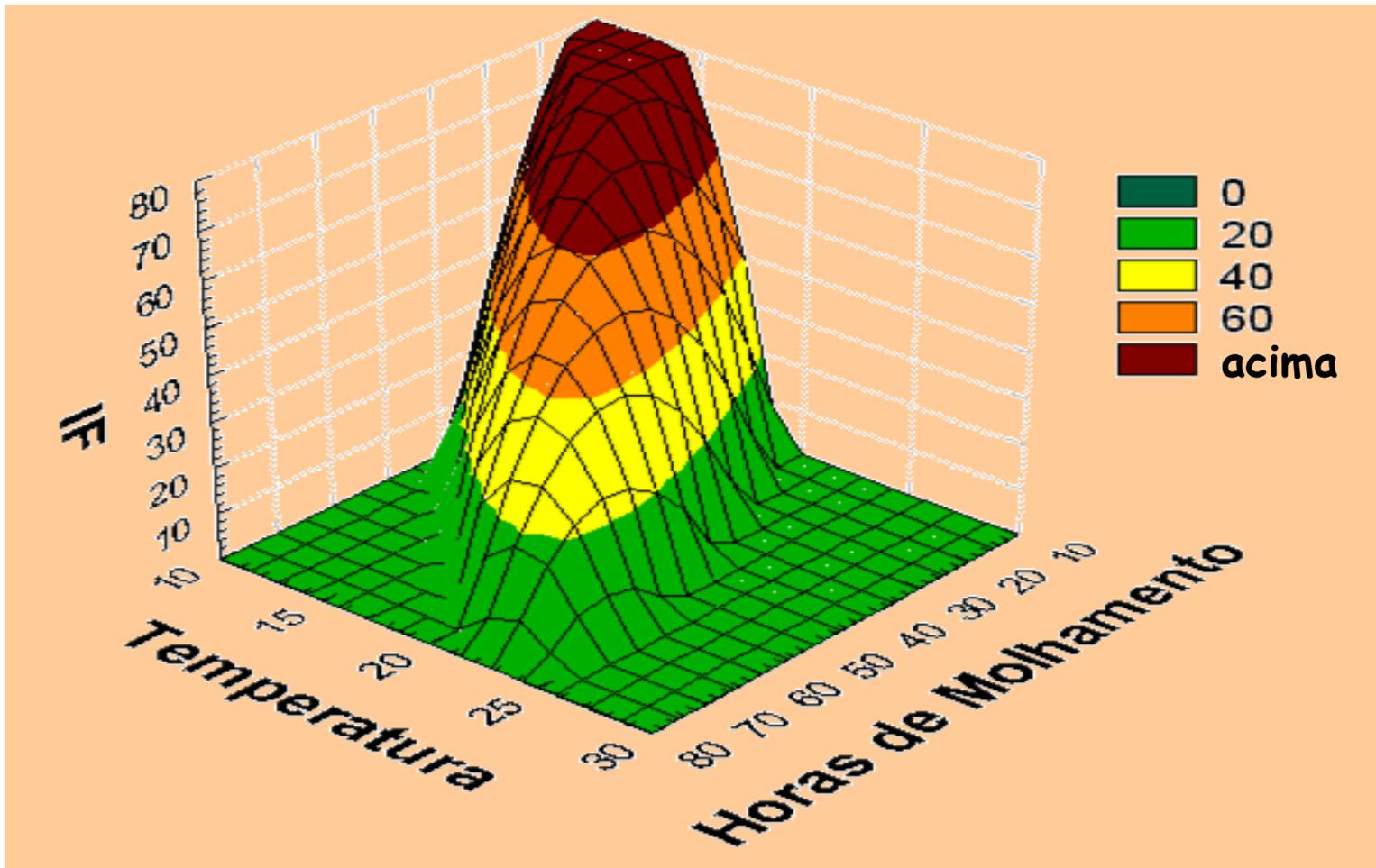
Exemplo 2:

A máxima severidade de Ramulose do Algodoeiro (*Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*):

- T = 15°C, não ocorre
- T = 20°C, ocorre com 50 horas de DPM
- T = 25°C, ocorre com 30 horas de DPM
- T = 30°C, ocorre com 20 horas de DPM
- T = 40°C, não ocorre



Efeito Combinado Temperatura x DPM



Efeito da Chuva

Climas tropicais: Porquê da importância da chuva.

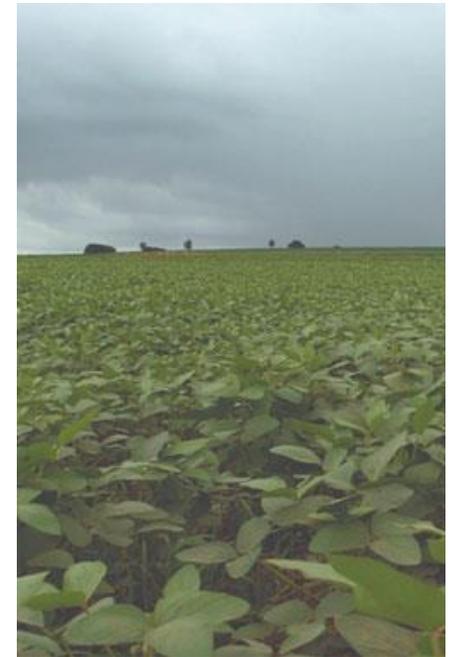
→ Fator 1: Tempo quente e úmido

- Temperatura constante (varia pouco)
- $DPM = f(\text{chuva})$

→ Fator 2: Dispersão de inóculo

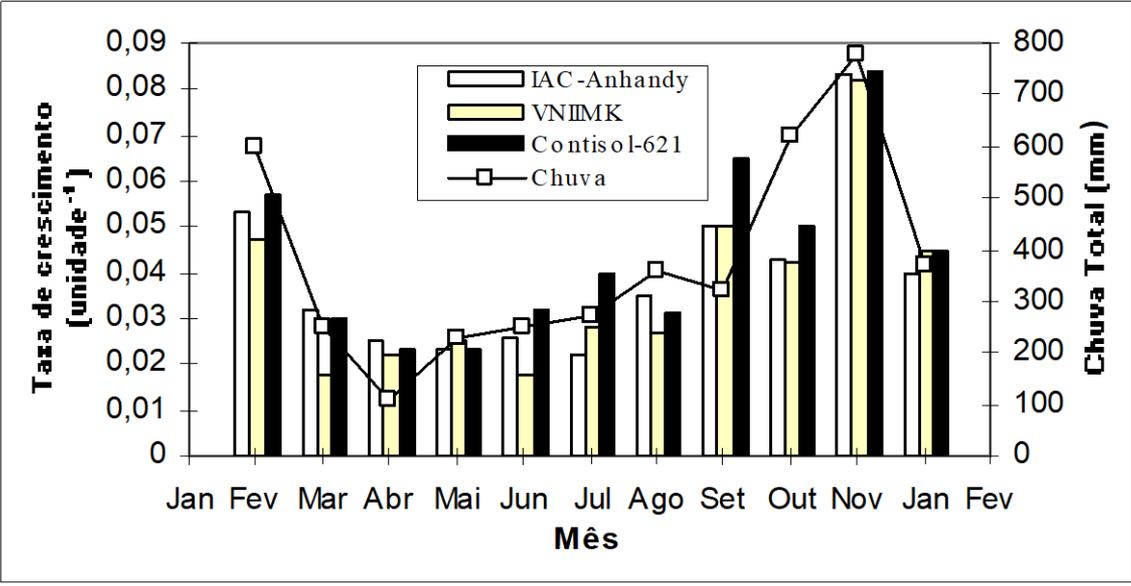
- Dissolução de matriz gelatinosa, liberação de esporos
- Respingos – disseminação para plantas e tecidos adjacentes

→ Logo: $INFECÇÃO = f(\text{chuva})$

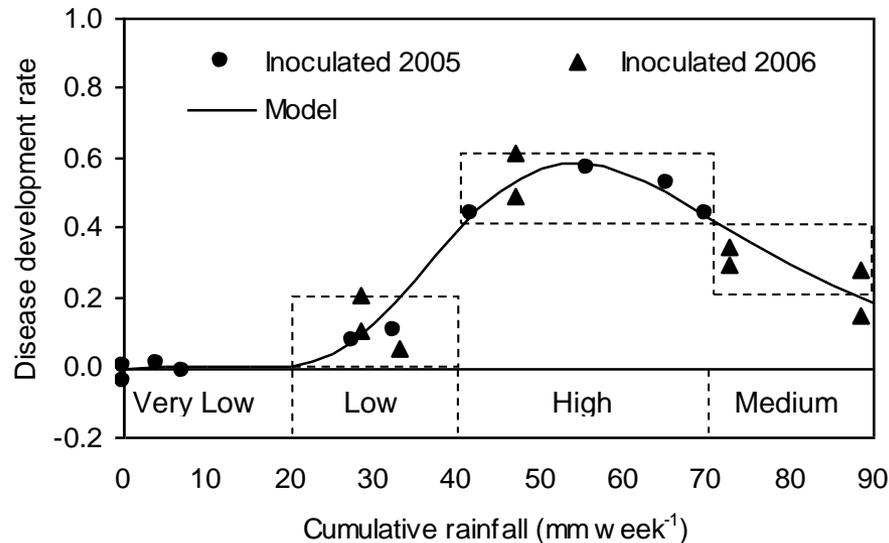
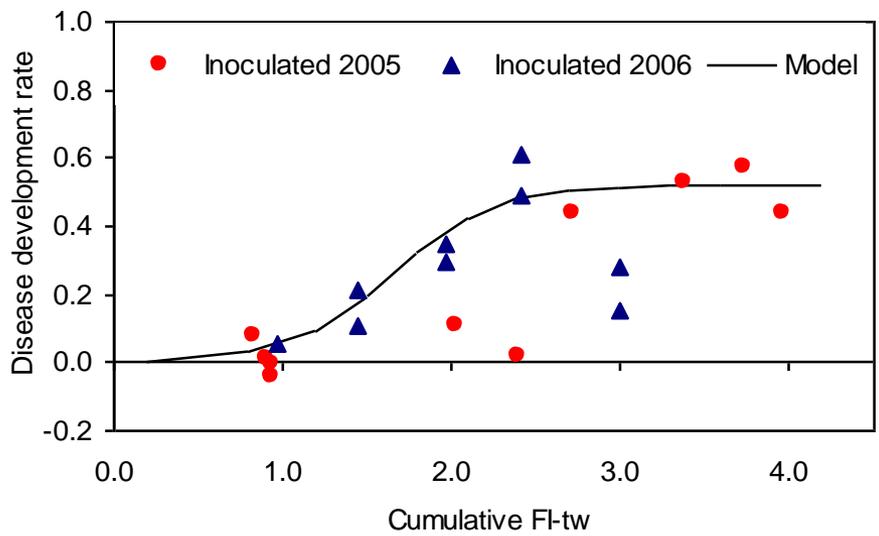


Efeito da Chuva

Exemplo 1: Mancha de Alternária, Girassol

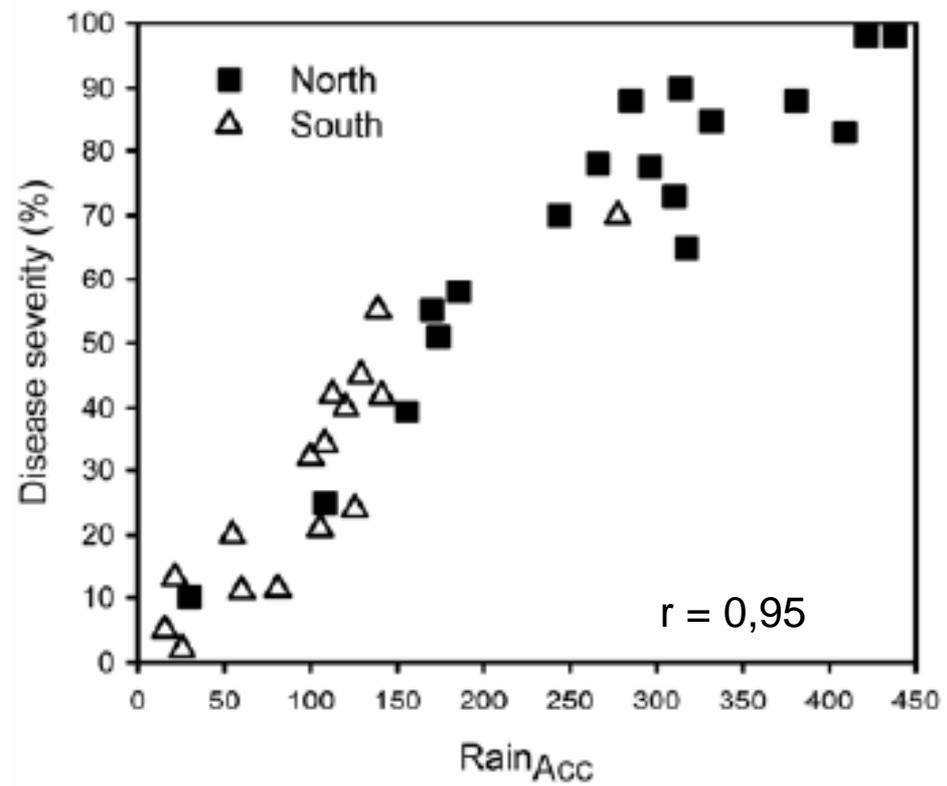
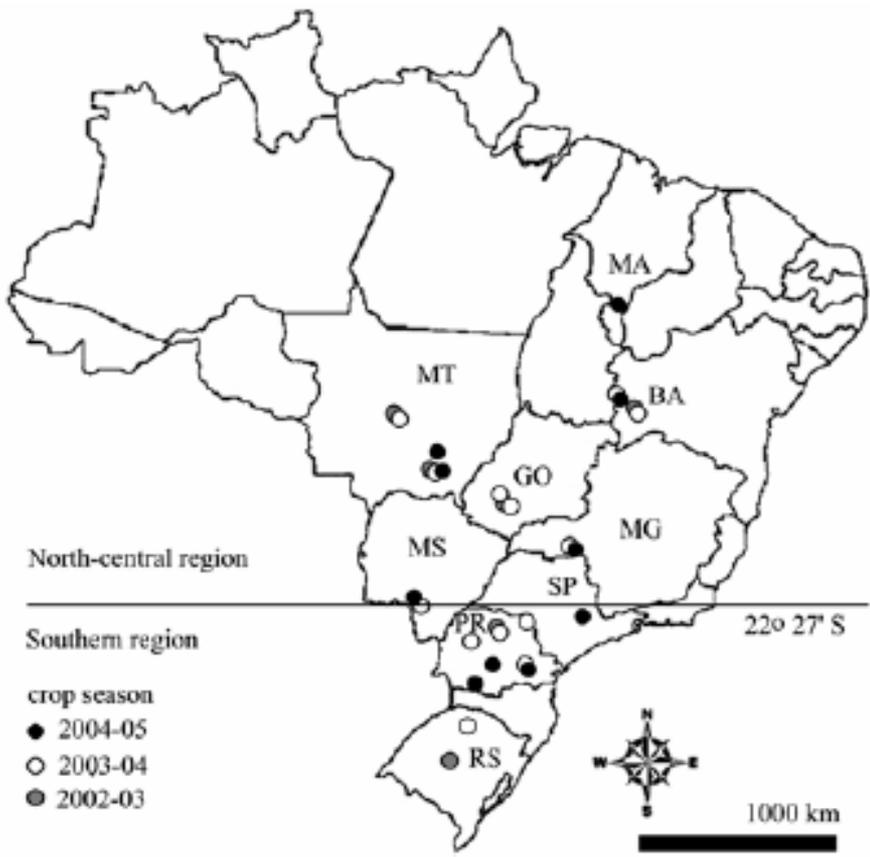
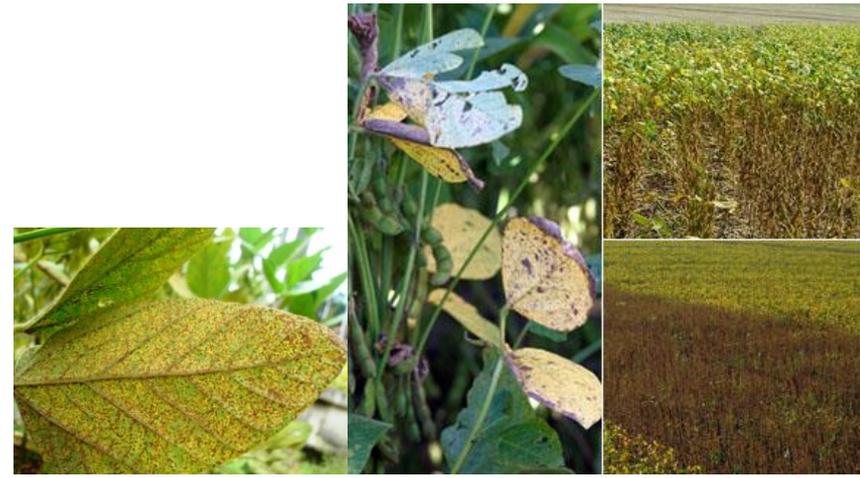


Exemplo 2: Ramulose, Algodoeiro



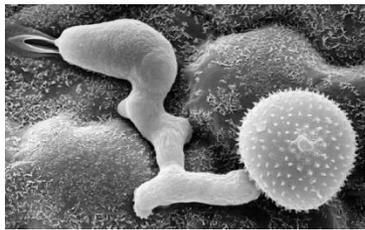
Efeito da Chuva

Exemplo 3: Ferrugem Asiática - Soja

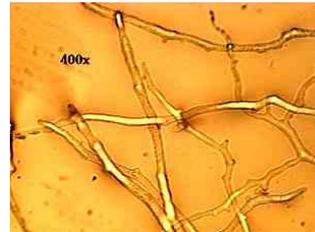


Sistemas de Alerta Fitossanitário

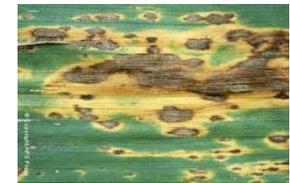
Sistema de previsão da ocorrência de doenças baseado no princípio de que os sintomas da doença que a planta apresenta são resultado do processo de INFECÇÃO que ocorreu em um período anterior.



Germinação & Penetração



Colonização



Lesões

Período de infecção
condicionado pela
Tar e DPM

Sintoma
Visível

Período Latente:
varia de 5 a 30 dias
f (Tipo de doença e Tar)

Sistemas de Alerta Fitossanitário

→ Exemplo 1 – Sarna da Macieira

- Sistema de Mills (Mills (1944)).
- Temperatura média do período noturno
- A DPM
- Presença de ascósporos



Temperatura média no período da DPM (°C)	Intensidade da infecção		
	LEVE	MODERADA	FORTE
	DPM (horas/semana)		
6	30	40	60
10	14	19	29
15	10	13	21
20	9	12	18
25	11	14	21

Sistemas de Alerta Fitossanitário

→ Exemplo 2 - Podridão parda do Pessegueiro

- Pulverizações preventivas baseadas na fenologia (início e no final do florescimento)
- Pulverizações curativas sempre que o produto $T * DPM > 140$

Nível de Infecção	Tmed noturna x DPM
Leve	140
Moderado	200
Forte	300



Sistemas de Alerta Fitossanitário

→ Exemplo 3 - Podridão da batata (*Phytophthora infestans*)

- 1 passo = Grau de severidade baseado na DPM
- 2 passo = Severidade acumulada + chuva

T noturna	Grau de Severidade				
(°C)	0	1	2	3	4
	DPM (horas)				
7 a 12	15	16-18	19-21	22-24	25
12 a 15	12	13-15	16-18	19-21	22
15 a 27	9	10-12	13-15	16-18	19

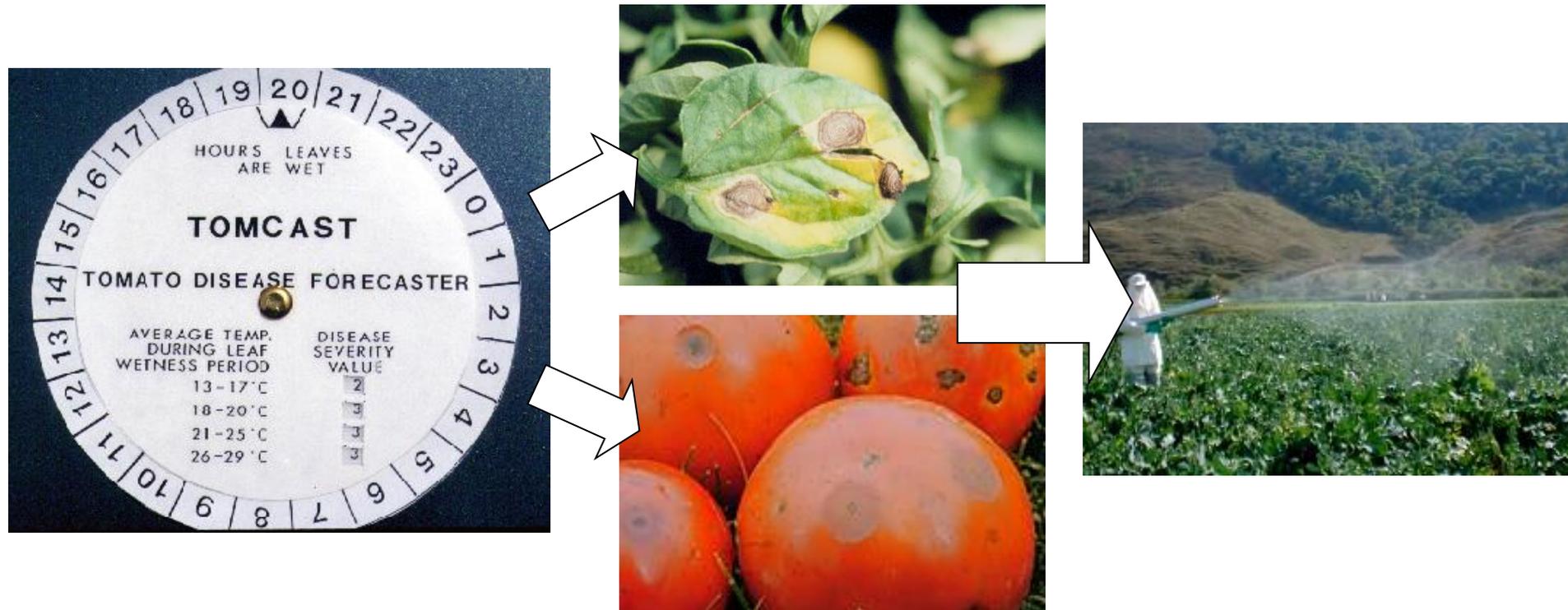


Núm. de dias	Severidade Acumulada em 7 dias					
com chuva	< 3	3	4	5	6	> 6
em 7 dias	Código de mensagem					
< 5	-1	-1	0	1	1	2
> 4	-1	0	1	2	2	2

- 1 ⇒ NÃO PULVERIZAR
- 0 ⇒ FICAR ALERTA
- 1 ⇒ PULV. Em até 7 DIAS
- 2 ⇒ PULV. Em até 5 DIAS.

Sistemas de Alerta Fitossanitário

→ Exemplo 4 – Requeima e Pinta Preta do Tomateiro



RESULTADOS NA CULTURA DO TOMATE

Local	Tradicional	Monitorado	Diferença
Guararapes - SP			
Faz. Sta Lúcia	12	6	50%
Faz. Tangará	11	4	63%
Patos de Minas - MG			
Pivot 1	20	10	50%
Pivot 2	18	9	50%
Gotejo	17	8	53%
Altinópolis -SP			
Faz. São José e Tereza	15,5	11	20,7%
Guaíra - SP			
Faz. Sta. Helena	18	7	61%

Vantagens dos Sistemas de Alerta Fitossanitário

- Racionalizar o uso de agrotóxicos
 - Usar só quando necessário
- Melhorar o controle de doenças
 - Usar o produto certo na hora certa
- Reduzir custo de produção
 - Elimina pulverizações desnecessárias
- Reduzir riscos de contaminação
 - Aplicadores
 - Consumidores
 - Ambiente
- Reduzir riscos de resistência dos patógenos
- Valorização do produto final

Uso de Sistemas de Alerta Fitossanitário para Avaliação do Risco Climático

Sistema de Alerta Fitossanitário



Modelos Agrometeorológicos - Doença x Clima



Séries Históricas (T, P, DPM)



Estimativa da Intensidade da Doença - Riscos



Modelos Lineares – Riscos x Coord. Geográficas



Mapas de Risco Climático para a Ocorrência de Doenças

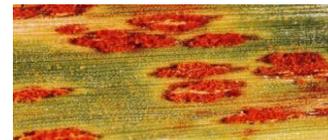
Exemplo 1

Zoneamento da favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nas principais regiões produtoras do Brasil e da Austrália

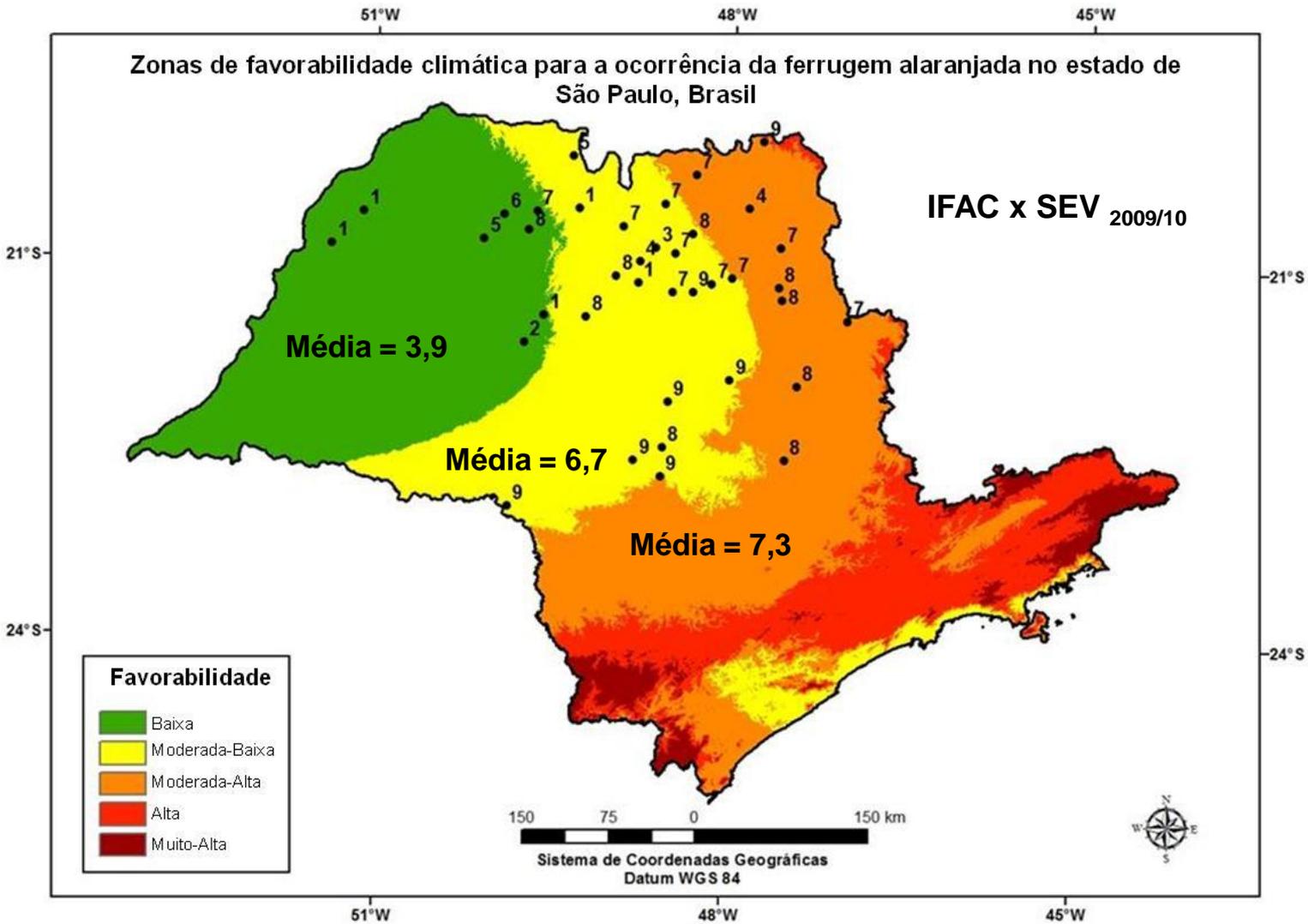
Mestranda: Dayana Lardo dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas

PPG Engenharia de Sistemas Agrícolas



Mapa de Favorabilidade Climática para a Ferrugem Alaranjada em SP



Exemplo 2

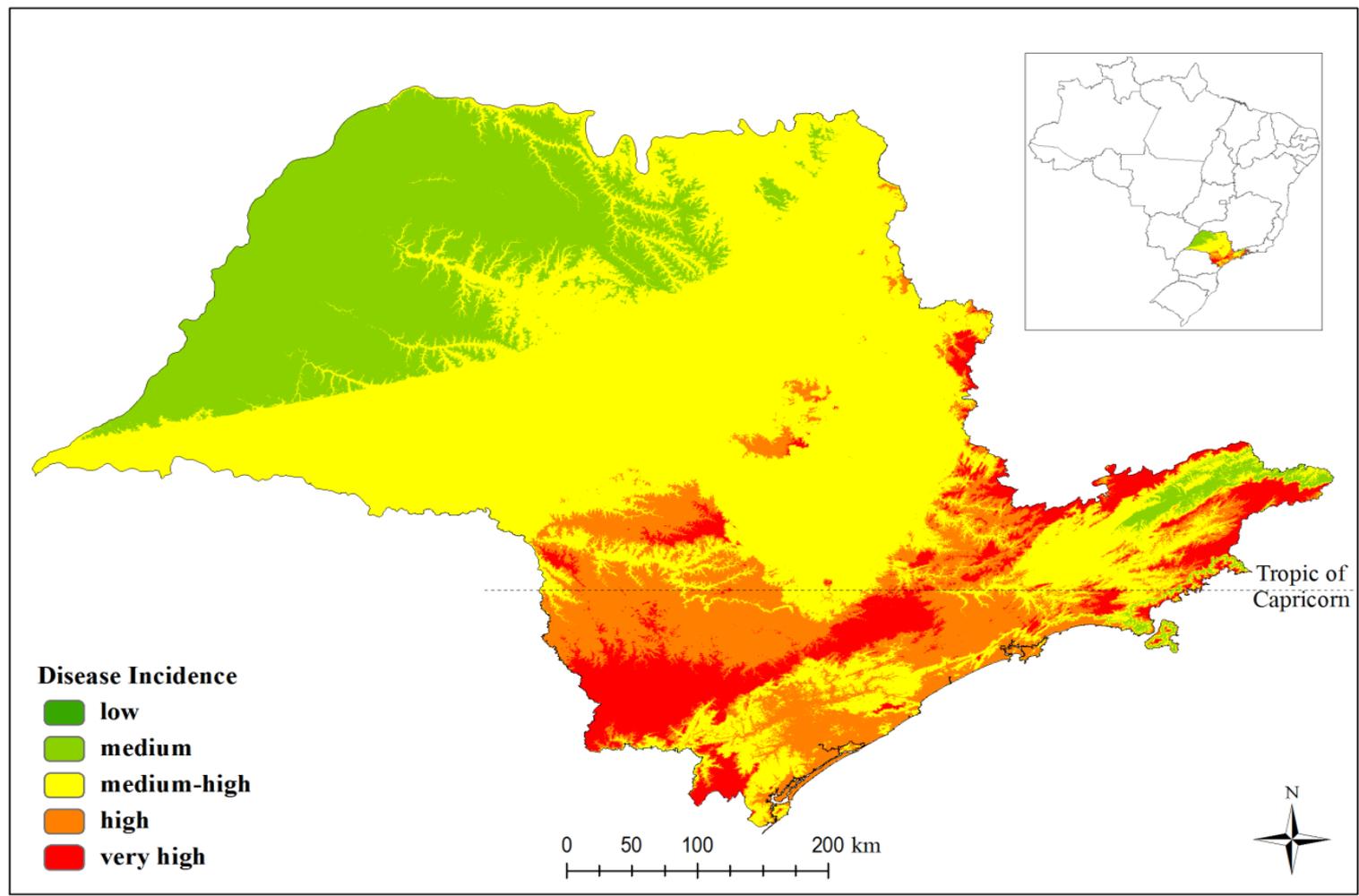
Zoneamento Agroclimático do Risco de Ocorrência da Podridão Floral dos Citros no Estado de São Paulo

Ana Raquel Soares Colletti

Paulo Cesar Sentelhas



Zoneamento Agroclimático do Risco de Ocorrência da Podridão Floral dos Citros no Estado de São Paulo



Teste rápido #14

- 1) Quais são os principais elementos meteorológicos associados à ocorrência de doenças de plantas e como eles afetam o processo infeccioso?
- 2) O que é DPM e como ela pode ser determinada?
- 3) O que são os sistemas de alerta fitossanitário e para que eles servem?