

Avaliação De Modelos Para Estabelecimento De Figura De Risco De Ocorrência Da Sigatoka-Negra Em Bananais



ISSN 1518-7179

Dezembro, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 55

Avaliação De Modelos Para Estabelecimento De Figura De Risco De Ocorrência Da Sigatoka-Negra Em Bananais

Paulo E. Cruvinel,
Wilson S. Moraes,
Hugo Do N. Bendini,
Sílvia H. Modenese-Gorla Da Silva,
Erika S. Tezuka

Embrapa Instrumentação
São Carlos, SP
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação

Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: (16) 2107 2800
Fax: (16) 2107 2902
www.cnpdia.embrapa.br
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: João de Mendonça Naime
Membros: Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Sandra Protter Gouvea
Washington Luiz de Barros Melo
Valéria de Fátima Cardoso
Membro Suplente: Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Supervisor editorial: Victor Bertucci Neto
Revisão de texto: Raíra Valente
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento de ilustrações: Foco Comunicação
Imagem Capa: Professor Wilson S. Moraes
Editoração eletrônica: Foco Comunicação

1ª edição

1ª impressão (2011): tiragem 300

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.

Embrapa Instrumentação

C957a

Cruvinel, Paulo E.

Avaliação de modelos para estabelecimento de figura de risco de ocorrência da Sigatoka-Negra em bananais. / Paulo E. Cruvinel, Wilson S. Moraes, Hugo do N. Bendini, Sílvia H. Modenese-Gorla da Silva, Erica S. Tezuka. -- São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011.
28 p. -- (Embrapa Instrumentação. Documentos, ISSN: 1518-7179; 55).

1. I. Moraes, Wilson S. II. Bendini, Hugo do N. III. Silva, Sílvia H. Modenese-Gorla da. IV. Tezuka, Erica S. V. Sigatoka Negra. VI. Figura de risco. VII. Título. VIII. Série.

CDD 21 ED 634.772

© Embrapa 2011

Autores

Paulo E. Cruvinel,

Pesquisador, Doutor em Automação,
Embrapa Instrumentação,
C.P. 741, CEP 13560-970,
São Carlos SP,
cruvinel@cnpdia.embrap.br

Wilson S. Moraes,

Pesquisador, Doutor em Fitopatologia, Professor
Universidade Estadual de São Paulo (UNESP, Campus de Registro).
wilson@registro.unesp.br

Hugo Do N. Bendini,

Mestrando em Ciências da Computação,
Engenheiro Agrônomo,
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Embrapa Instrumentação,
C.P. 741, CEP 13560-970,
São Carlos SP,
hugo_bendini@dc.ufscar.br

Silvia H. Modenese-Gorla Da Silva,

Pesquisadora, Doutora em Energia na Agricultura, Professora
Universidade Estadual de São Paulo (UNESP, Campus de Registro).
silvia@registro.unesp.br

Erika S. Tezuka

Mestre em Ciência da Computação,
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Embrapa Instrumentação,
C.P. 741, CEP 13560-970,
São Carlos SP,
erika@cnpdia.embrapa.br

Apresentação

As bananas constituem o quarto produto alimentar mais produzido no mundo, seguindo o arroz, o trigo e o milho. Como uma planta herbácea, é cultivada em praticamente todas as regiões tropicais do planeta, principalmente no Brasil. Sua produção, entretanto, tem sido limitada principalmente devido ao ataques da Sigatoka-negra, doença fúngica que tem provocado perdas de renda aos produtores. Devido a este fato, uma série de iniciativas tem sido requerida para o setor, principalmente no âmbito do monitoramento e controle de riscos causados por esta doença. Tais iniciativas estão associadas com planos de contingências que devem ser colocados em execução pelo produtor a partir do estágio de desenvolvimento da doença e do processo de monitoramento. Este trabalho avalia e discute modelos considerados estratégicos para a análise de risco do estágio de ocorrência da Sigatoka-negra, o que é de grande interesse para a agricultura do país, como também com apelo para outros países de clima tropical.

Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Chefe Geral

Sumário

Apresentação	5
Introdução	7
Materiais e Métodos	8
Resultados e Discussões	9
Conclusões	26
Referências	26

Avaliação De Modelos Para Estabelecimento De Figura De Risco De Ocorrência Da Sigatoka-Negra Em Bananais

Paulo E. Cruvinel,
Wilson S. Moraes,
Hugo Do N. Bendini,
Silvia H. Modenese-Gorla Da Silva,
Erika S. Tezuka

Introdução

Monitoramento e controle do risco é o processo que visa identificar e assegurar a produtividade de culturas agrícolas buscando garantir a execução e avaliação de planos de contingência e sua eficiência. Bons sistemas de monitoramento e controle do risco devem fornecer informações que suportam decisões eficazes procurando elementos que possam definir o que fazer no avanço de ocorrências dos riscos. Um monitoramento deve buscar determinar minimamente se as respostas ao risco estão sendo implementadas como planejadas, se as ações das respostas ao risco são eficazes como esperadas ou se novas respostas devem ser desenvolvidas, se as hipóteses são válidas no período de vida do processo, se as análises de tendências da exposição do risco influenciam nas prioridades, se ocorreram alertas, se as políticas e procedimentos adequados estão sendo seguidos, bem como se têm ocorrido riscos que não foram identificados anteriormente, ou seja, novas modalidades. Um processo de monitoramento de doenças de plantas, que considere aspectos relevantes do manejo baseado em informações para a tomada de decisão, pode auxiliar o incremento da produção e da rentabilidade agrícola, bem como auxiliar na minimização dos impactos ambientais, o que é altamente desejável para o produtor. Neste contexto, modelos de decisão acoplados a sistemas de informações são ferramentas que podem viabilizar o estabelecimento de programas territoriais de manejo de doenças que pode auxiliar com efetividade e maior rapidez os processos de tomada de decisão.

Entre as principais doenças que ocorrem em bananais, nos países tropicais, encontram-se as fúngicas como a Sigatoka-amarela, o mal-do-Panamá e a Sigatoka-negra e (ALVES, 1999; IBRAF, 2008).

A Sigatoka-amarela é uma doença conhecida como cercosporiose ou mal-de-Sigatoka. Ela é causada pelo fungo *Mycosphaerella musicola*. Os sintomas iniciais aparecem como uma leve descoloração em forma de ponto entre as nervuras secundárias da segunda à quarta folha, a partir da vela. Essa descoloração aumenta, formando uma estria de tonalidade amarela. Em alta frequência de lesões, dá-se o coalescimento e a conseqüente necrose do tecido foliar. Os prejuízos causados pela Sigatoka-amarela são da ordem de 50% da produção mas, em microclimas muito favoráveis, esses prejuízos podem atingir os 100%, uma vez que os frutos quando produzidos sem nenhum controle da doença, não apresentam valor comercial. Os prejuízos são resultantes da morte precoce das folhas e do conseqüente enfraquecimento da planta, com reflexos imediatos na produção (SIVIERO; LEDO, 2002).

O mal-do-Panamá que se apresenta em praticamente todas as regiões produtoras de banana do mundo, aparece no Brasil ainda mais grave em função das variedades cultivadas, que na maioria dos casos são suscetíveis. Ele é causado pelo fungo *Fusarium oxysporum f. sp. cubense*. As principais formas de disseminação são o contato dos sistemas radiculares de plantas sadias com esporos liberados por plantas doentes e devido ao uso de material de plantio contaminado (GOES; MORETTO, 2001; ALVAREZ et al., 1981).

A Sigatoka-negra que é causada pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis* é considerada uma das mais importantes doenças da bananeira no mundo (STOVER; SIMMONDS, 1987; CORDEIRO et al., 1995; MORAES et al., 2005) e, sem dúvida, a que mais preocupa o setor bananeiro brasileiro (MONTEIRO, 2001; HANADA et al., 2002). Os sintomas causados pela evolução das lesões produzidas pela Sigatoka-negra se assemelham aos decorrentes do ataque da Sigatoka-amarela, também ocorrendo a infecção nas folhas mais novas. Já os primeiros sintomas aparecem na face inferior da folha como estrias de cor marrom, evoluindo para estrias negras. Os reflexos da doença são sentidos pela rápida destruição da área foliar, reduzindo-se a capacidade fotossintética da planta e, conseqüentemente, a sua capacidade produtiva.

A Sigatoka-negra é a mais grave e temida doença da bananeira no mundo, implicando em aumento significativo de perdas, que podem chegar a 100% da produção, onde o controle não é realizado. O poder de destruição dessa doença nas áreas produtoras de banana do mundo tem preocupado produtores, pesquisadores e instituições envolvidas com a cultura. No Brasil, desde a sua constatação em 1998, ela tem gerado apreensão, devido tanto as suas características como também pela importância da cultura para o país como um todo (MATSUURA; FOLEGATTI, 2001). Seu controle tem sido realizado geralmente por meio de pulverizações alternadas de fungicidas sistêmicos e protetores, e são determinadas em função do monitoramento semanal do progresso da doença.

A existência de uma correlação entre condições climáticas e o desenvolvimento da Sigatoka-negra é dada pelos efeitos que devem exercer as variáveis climáticas durante o processo de sua inoculação e propagação no campo. Porém, existe um intervalo de tempo entre a inoculação do fungo e o surgimento dos primeiros sintomas na planta que é conhecido como tempo de incubação. Por esta razão, busca-se trabalhar com as médias acumuladas das variáveis climáticas para períodos de tempo (conhecidos como janelas), os quais retratam o período tempo que precede a medição das variáveis biológicas. A literatura da área reporta diferentes tamanhos de janela e períodos de tempo. O período de janela de tempo ideal é aquele que apresenta maior valor de correlação. Moraes e colaboradores (MORAES et al., 2005) determinaram que para a região de estudo considerada, utilizada para a validação dos modelos desenvolvidos, as janelas devem ser de uma ou duas semanas, visto a permitirem melhor correlação entre as variáveis climáticas e as variáveis biológicas envolvidas no processo da doença. Neste trabalho, foi considerada a priori a janela de uma semana, ou seja, trabalhou-se com os valores de médias semanais considerando uma semana de antecedência a data de medição do Estado de Evolução da Doença (EED). Por outro lado, a influência do clima nas doenças se faz principalmente sob a influência de períodos de molhamento foliar e das características de solo favoráveis a ocorrência de epidemias e temperatura durante o período do cultivo (BERGER, 1989; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996; MEDINA et al., 2000).

Há nos dias atuais uma expressiva demanda por tecnologias e conhecimentos que possam minimizar os efeitos provocados pelas doenças fúngicas que se encontram presente em vários países produtores de bananas. A evolução da geomática que considera a modelagem, os sistemas de informação, o geoprocessamento, sistemas de posicionamento global e outras tecnologias de interesse para a instrumentação agrônômica vêm proporcionando um novo caminho para a minimização de externalidades encontradas no setor agrícola, métodos que auxiliam enxergar a propriedade, parcelas à parcelas (MCBRATNEY; WEBSTER, 1986; BROWN; STECKLER, 1995; TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002; MANTOVANI, 2002). No setor de produção de bananas, tais oportunidades instrumentais associadas ao conhecimento agrônômico podem auxiliar na construção de soluções que venham a minimizar os problemas apontados.

Neste trabalho são discutidos modelos para auxílio ao processo de tomada de decisão para minimização de problemas da doença Sigatoka-negra, a qual tem prejudicado significativamente a produção de bananas mundial.

Material e Métodos

A Figura 1 ilustra a concepção da estrutura do sistema de monitoramento de risco da Sigatoka-negra em bananais. Dados climáticos sobre temperatura e umidade relativa foram obtidos de estações meteorológicas. Os dados de duração do período de molhamento foliar (DPM) foram determinados utilizando a metodologia de Gasparotto (GASPAROTTO, 1988). Para obtenção dos dados relacionados à reflectância dos comprimentos de onda na faixa do verde, foram utilizadas imagens satelitais.

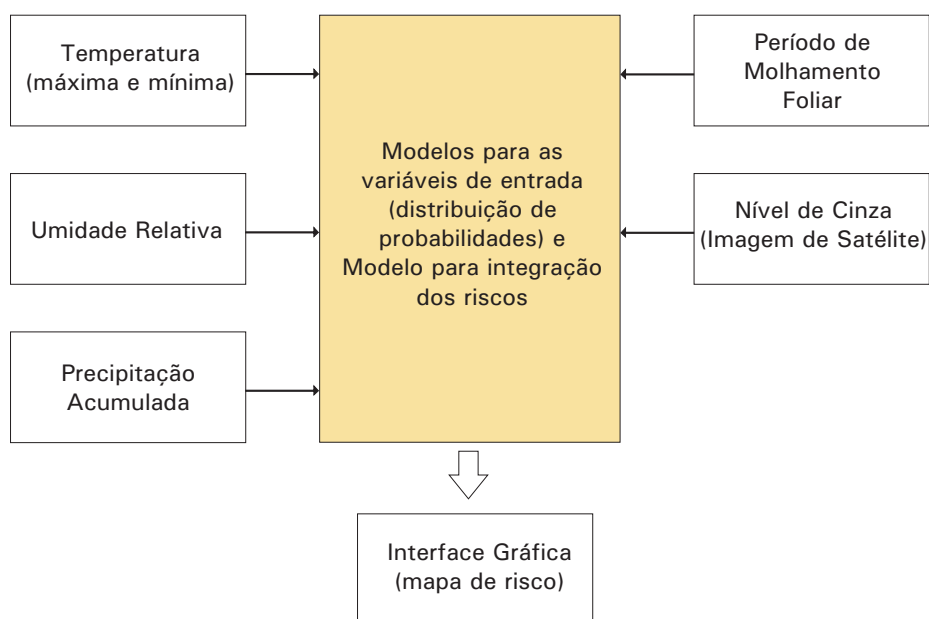


Fig. 1. Concepção estrutural para a organização de modelos que auxiliem a análise de risco da doença Sigatoka-negra em bananais, considerando escala de propriedade.

O modelo para a integração dos riscos é baseado nas metodologias propostas por Cruvinel, Bendini e colaboradores (CRUVINEL et al., 2006; BENDINI et al., 2010), em que o risco integrado é fruto da concatenação das probabilidades sobre as faixas de valores de dados climáticos, período de molhamento foliar e informações de refletância que podem ser mais propícias para a ocorrência de doenças fúngicas.

A Figura 2 ilustra a localização da área de estudo, que fica no Bairro do Guaraú, Jacupiranga-SP, assim como uma visão da propriedade rural e a área do bananal com a cultivar Grand Naine (Nanicão). Trata-se de uma área plantada de 12 ha com coordenadas UTM definidas por E1:791903.9m, 7244702.4m e E2:792842.9m, 7245578.9m e espaçamento de 2,5m x 2,5m.

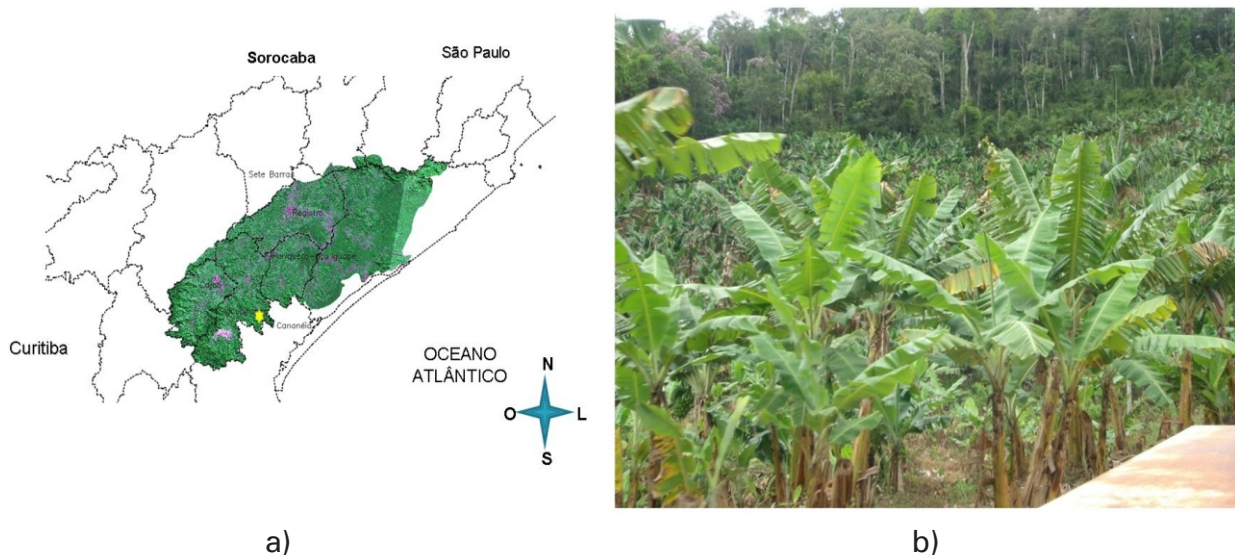


Fig. 2.(a) Localização da área utilizada para o estudo de caso; (b) detalhe da área com a cultivar Grand Naine (Nanicão).

Ao se estabelecerem modelos que envolvam probabilidades de ocorrência da Sigatoka-negra em bananais, foi necessário considerar funções de probabilidade do conjunto de variáveis organizadas em classes de dados temporalmente observados e registrados. Também houve a necessidade de consultar a literatura da área para conhecimento a priori das faixas ou valores favoráveis para a ocorrência da doença para cada um dos parâmetros considerados.

Assim, variáveis como temperatura mínima (T_{\min}), temperatura máxima (T_{\max}), precipitação acumulada (P_p), umidade relativa do ar (UR) e duração do período de molhamento foliar (DPM) foram utilizadas como parâmetros de entrada para a construção do modelo de decisão.

Adicionalmente, de forma a expressar a espacialização da variabilidade para uma determinada área considerada, foram utilizadas informações sobre o nível de cinza de pixels de imagens (NCP) do local de interesse a ser analisado, geradas pelo sensor do satélite Landsat 5 (TM).

Para o desenvolvimento dos modelos, foram estabelecidas para cada uma das variáveis dez classes de intervalos de dados. Os limites dos intervalos das classes foram obtidos pela soma recursiva do passo a partir do valor mínimo até o encontro do valor máximo de cada variável considerada.

Deste modo, considerando a amplitude para cada base de dados como sendo a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo da variável em cada série de dados, o passo foi determinado considerando como sendo a divisão dessa amplitude máxima pelo número de classes de probabilidades.

Resultados e Discussões

No desenvolvimento dos modelos para descreverem as funções de probabilidades para cada determinada variável considerada, foi necessário considerar o cálculo da frequência relativa dos dados da série, para cada uma das classes, o que se caracterizou como um ponto essencial para a busca dos ajustes a serem considerados.

Neste trabalho, optou-se por ajustar modelos polinomiais de várias ordens, procurando compará-los e selecioná-los a partir das melhores respostas obtidas. O critério utilizado para a seleção do melhor modelo foi baseado no uso do coeficiente de regressão (R^2) e do erro padrão (ϵ).

Assim, o coeficiente de regressão e o erro padrão orientaram a seleção do modelo, ou seja, a escolha recaiu sobre aqueles modelos que apresentaram, respectivamente, o maior R^2 com o menor ϵ associado.

A Tabela 1 apresenta informações sobre as variáveis utilizadas para avaliação de um estudo de caso, e de suas unidades, incluindo a amplitude e o passo para a organização das classes.

Tabela 1. Informações sobre as variáveis para descrição dos modelos.

	T_{\min} [°C]	T_{\max} [°C]	P_p [mm]	UR [%]	DPM [t]
Máximo	22,67	35,94	200,90	91,9	127,0
Mínimo	7,57	19,13	0,00	79,3	23,0
Desvio Padrão	3,38	3,48	38,45	3,0	21,8
Média	17,23	28,34	32,46	85,9	83,2
Mediana	17,51	28,26	21,80	86,0	85,0
Moda	20,34	27,83	0,00	-	53,0
1° Quartil	15,00	25,39	1,60	84,4	65,0
2° Quartil	17,51	28,26	21,80	86,0	85,0
3° Quartil	20,14	30,89	47,80	88,0	97,0
Amplitude	15,10	16,81	200,90	12,6	104,0
Passo	1,51	1,68	20,09	1,3	10,4

Temperatura Máxima (T_{\max})

A temperatura máxima em graus Celsius registrada (T_{\max}) foi obtida pela média das temperaturas máximas diárias dos registros para o período de uma semana. Como pode ser visualizado na Tabela 2, entre as medidas descritivas desta variável, observou-se uma média de 28,34°C, valor mínimo de 19,13°C, valor máximo de 35,94°C e mediana de 28,26°C, o que indica que 50% dos registros apresentaram valores menores ou iguais a este valor.

A Figura 3 ilustra o gráfico de caixa dos valores de (T_{\max}), no qual se pode verificar que 25% das observações apresentam valores menores ou iguais a 25,39 °C, valores que correspondem ao primeiro quartil.

A curva de distribuição das probabilidades com a curva do modelo polinomial ajustado e sua respectiva equação é apresentada na Figura 4. A Tabela 3 ilustra os intervalos das classes e as respectivas probabilidades determinadas pelos modelos polinomiais de diferentes ordens. Foram avaliados polinômios da segunda a sexta ordem, tomando por base os respectivos coeficientes de regressão e os erros associados.

A Tabela 4 exhibe as diferentes funções polinomiais, suas ordens de ajuste, bem como os valores de variância, erro padrão e coeficientes de regressão encontrados.

A Figura 3 apresenta a distribuição das probabilidades de ocorrência de cada classe de intervalo para a variável (T_{\max}), e as curvas ajustadas com polinômios de segunda à sexta ordem. Neste caso o modelo escolhido foi o polinomial de quinta ordem, cujos valores de R^2 e erro padrão foram respectivamente 0,8937 e 0,0730.

A Tabela 5 ilustra os intervalos das classes, as respectivas probabilidades determinadas pelo modelo escolhido, bem como os níveis de favorabilidade a ocorrência da Sigatoka-negra.

Tabela 2. Número de medidas N e medidas descritivas de T_{\max} [°C].

Variável	Grandeza
N	157
Média	28,34
Mediana	28,26
Desvio Padrão	3,48
Variância	12,12
Mínimo	19,13
Máximo	35,94
Q1	25,39
Q2	28,26
Q3	30,89

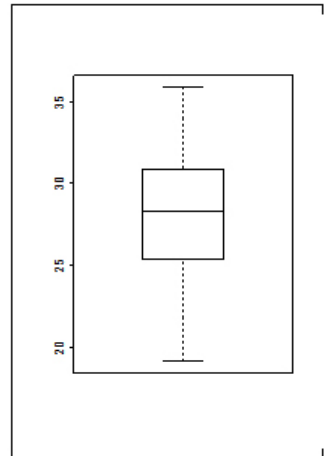


Fig. 3. Gráfico de caixa para os valores de $T_{máx}$.

Tabela 3. Intervalos das classes e probabilidades ajustadas pelos modelos polinomiais de segunda a sexta ordem.

Classes	Intervalo (°C)	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6
1	19,13 a 20,81	-0,0114	-0,0112	-0,0007	0,0024	0,0071
2	20,82 a 22,50	0,0512	0,0510	0,0373	0,0309	0,0143
3	22,51 a 24,19	0,0996	0,0992	0,0851	0,0880	0,1088
4	24,20 a 25,88	0,1338	0,1331	0,1223	0,1351	0,1641
5	25,89 a 27,58	0,1538	0,1529	0,1333	0,1538	0,1952
6	27,59 a 29,27	0,1596	0,1584	0,1073	0,1401	0,2469
7	29,28 a 30,96	0,1512	0,1495	0,0383	0,0986	0,3332
8	30,97 a 32,65	0,1286	0,1263	-0,0749	0,0363	0,4259
9	32,66 a 34,34	0,0918	0,0887	-0,2287	-0,0436	0,4943
10	34,35 a 36,03	0,0408	0,0365	-0,4147	-0,1475	0,5954

Tabela 4. Polinômios e seus valores de variância (σ^2), erro padrão (ϵ) e coeficientes de regressão (R^2).

Ordem	Polinômios	σ^2	ϵ	R^2
2	$T_{máx}(t) = -0,0071t^2 + 0,0839t - 0,0882$	0,0034	0,0227	0,8593
3	$T_{máx}(t) = -9E-6t^3 - 0,007t^2 + 0,0833t - 0,0875$	0,0033	0,0227	0,8593
4	$T_{máx}(t) = 0,0002t^4 - 0,0054t^3 + 0,0323t^2 - 0,0241t - 0,0037$	0,0203	0,1675	0,8880
5	$T_{máx}(t) = -5E-5t^5 + 0,0016t^4 - 0,0192t^3 + 0,094t^2 - 0,1415t + 0,0675$	0,0067	0,0730	0,8937
6	$T_{máx}(t) = 7E-5t^6 - 0,0024t^5 + 0,0321t^4 - 0,2106t^3 + 0,6997t^2 - 1,0292t + 0,5174$	0,0275	0,2088	0,9415

Tabela 5. Intervalos das classes, probabilidades ajustadas pelo modelo e os respectivos níveis de risco.

Classes	Intervalo [°C]	Probabilidade pelo modelo ajustado	Risco
1	19,13 - 20,81	0,0024	baixo
2	20,82 - 22,50	0,0309	médio
3	22,51 - 24,19	0,0880	médio
4	24,20 - 25,88	0,1351	alto
5	25,89 - 27,58	0,1538	alto
6	27,59 - 29,27	0,1401	alto
7	29,28 - 30,96	0,0986	alto
8	30,97 - 32,65	0,0363	médio
9	32,66 - 34,34	-0,0436	médio
10	34,35 - 36,03	-0,1475	baixo

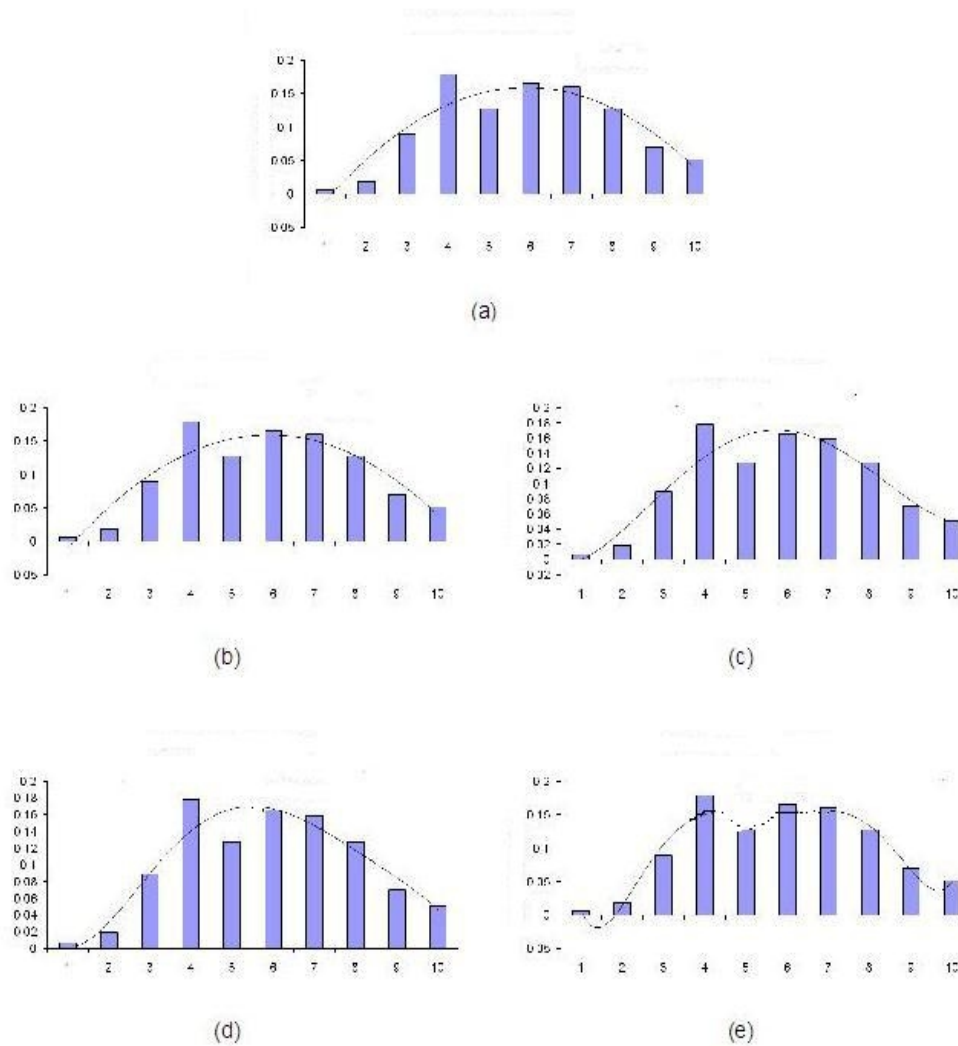


Fig. 4. Ajustes de modelos para a função de probabilidades para a variável $T_{máx}$, em que os eixos representam, respectivamente, a freqüência de ocorrência sua a classe. Os valores de R^2 , respectivamente, para os polinômios de segunda a sexta ordem, foram: a) 0,8593; b) 0,8593; c) 0,8880; d) 0,8937; e) 0,9415.

Temperatura Mínima (T_{min})

A temperatura mínima foi obtida considerando a média das temperaturas mínimas diárias dos registros de uma semana. Como observado na Tabela 6 entre as medidas descritivas desta variável, observou-se uma média de 17,23°C, mínimo de 7,57°C, máximo de 22,67°C e mediana de 17,51°C, o que indica que 50% dos registros apresentaram valores menores ou iguais ao valor dado pela mediana encontrada.

A Figura 5 ilustra o gráfico de caixa para os valores de (T_{min}), no qual se pode verificar que 25% das observações apresentam valores menores ou iguais a 15,00°C, valores que correspondem ao primeiro quartil.

A curva de distribuição das probabilidades com a curva do modelo polinomial ajustado e sua equação é apresentada na Figura 6.

A Tabela 6 ilustra os intervalos das classes e as respectivas probabilidades determinadas pelos modelos polinomiais de diferentes ordens. Foram avaliados polinômios da segunda a sexta ordem, tomando por base seus coeficientes de regressão e os erros associados.

A Tabela 7 exhibe as diferentes funções polinomiais, suas respectivas ordens de ajuste, junto com os valores de variância, erro padrão e coeficientes de regressão encontrados.

A Figura 5 apresenta a distribuição das probabilidades de ocorrência de cada classe de intervalo para a variável T_{min} , e as curvas ajustadas com polinômios de ordem 2 à ordem 6. O modelo selecionado com base no coeficiente de regressão e o erro padrão foi o descrito pelo polinômio de terceira ordem, cujos valores de R^2 e ε foram de 0,9307 e 0,0221 respectivamente. Assim, para esta variável, considera-se a Tabela 8, em que são demonstrados os intervalos das classes, suas probabilidades determinadas pelo modelo escolhido, bem como os níveis de favorabilidade a ocorrência da Sigatoka-negra.

Tabela 6. Número de medidas N e medidas descritivas de T_{\min} [°C].

Variável	Grandeza
N	157
Média	17,23
Mediana	17,51
Desvio Padrão	3,38
Variância	11,42
Mínimo	7,57
Máximo	22,67
Q1	15,00
Q2	17,51
Q3	20,14

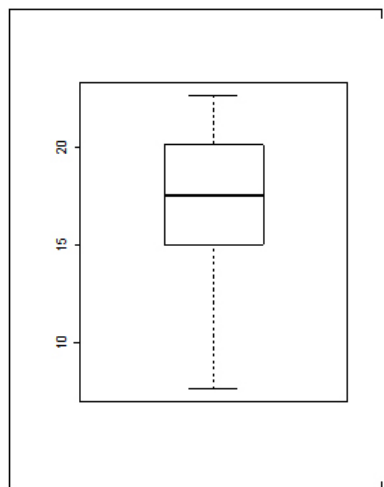


Fig. 5. Gráfico de caixa para dos valores de T_{\min} .

Tabela 6. Intervalos das classes e probabilidades ajustadas pelos modelos polinomiais de segunda a sexta ordem.

Classes	Intervalo [°C]	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6
1	7,57 – 9,08	-0,0031	0,0134	0,0101	0,0177	0,0185
2	9,09 - 10,6	0,0320	0,0270	0,0307	0,0143	0,0111
3	10,61 - 12,12	0,0625	0,0502	0,0529	0,0621	0,0654
4	12,13 - 13,64	0,0884	0,0794	0,0787	0,1245	0,1291
5	13,65 - 15,16	0,1097	0,1110	0,1081	0,2105	0,2148
6	15,17 - 16,68	0,1264	0,1414	0,1395	0,3627	0,3651
7	16,69 - 18,20	0,1385	0,1670	0,1697	0,6453	0,6250
8	18,21 - 19,72	0,1460	0,1842	0,1939	1,1321	1,0215
9	19,73 - 21,24	0,1489	0,1894	0,2053	1,8945	1,5505
10	21,25 - 22,76	0,1472	0,1790	0,1958	2,9895	2,1705

Tabela 7. Polinômios e seus valores de variância (σ^2), erro padrão (ϵ) e coeficientes de regressão (R^2).

Ordem	Função	σ^2	ϵ	R^2
2	$T_{\min}(t) = -0,0023t^2 + 0,042t - 0,0428$	0,0029	0,1915	0,8863
3	$T_{\min}(t) = -0,0006t^3 + 0,0084t^2 - 0,0074t + 0,013$	0,0038	0,0221	0,9307
4	$T_{\min}(t) = -7E^{-5}t^4 + 0,001t^3 - 0,0034t^2 + 0,0248t - 0,0122$	0,0041	0,0263	0,9337
5	$T_{\min}(t) = -0,0001t^5 + 0,0034t^4 - 0,0336t^3 + 0,1512t^2 - 0,2697t + 0,1665$	0,5777	0,8453	0,9751
6	$T_{\min}(t) = 1E^{-5}t^6 - 0,0005t^5 + 0,0088t^4 - 0,0677t^3 + 0,259t^2 - 0,4276t + 0,2465$	0,3320	0,5873	0,9769

Tabela 8. Intervalos das classes, probabilidades ajustadas pelo modelo e os respectivos níveis de risco.

Classes	Intervalo [°C]	Probabilidade pelo modelo ajustado	Risco
1	7,57 - 9,08	0,0134	baixo
2	9,09 - 10,6	0,0270	baixo
3	10,61 - 12,12	0,0502	baixo
4	12,13 - 13,64	0,0794	baixo
5	13,65 - 15,16	0,1110	médio
6	15,17 - 16,68	0,1414	médio
7	16,69 - 18,2	0,1670	médio
8	18,21 - 19,72	0,1842	alto
9	19,73 - 21,24	0,1894	alto
10	21,25 - 22,76	0,1790	alto

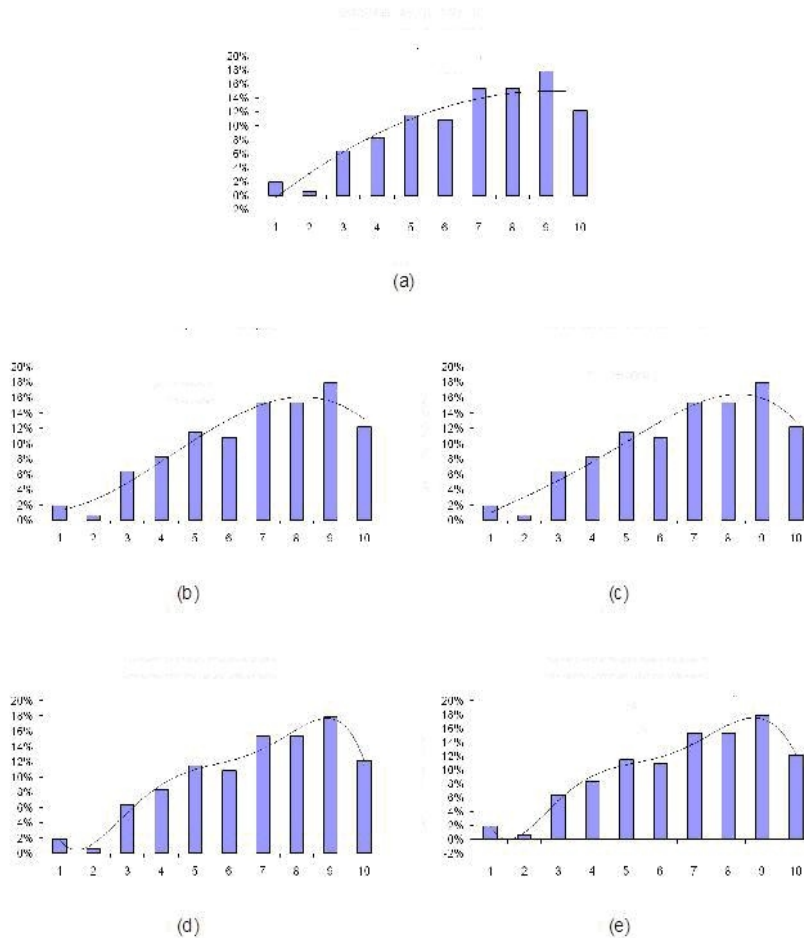


Fig. 6. Ajustes de modelos para a função de probabilidades para a variável $T_{mín}$, em que os eixos representam, respectivamente, a freqüência de ocorrência e sua classe. Os valores de R^2 , respectivamente, para os polinômios de segunda a sexta ordem, foram: a) 0,8863; b) 0,9307; c) 0,9337; d) 0,9751; e) 0,9769.

Precipitação acumulada (Pp)

A precipitação acumulada, registrada em milímetros (mm) é a quantidade de chuva por metro quadrado. Como pode ser observado na Tabela 9, entre as medidas descritivas desta variável, observou-se uma média de 32,5 mm, sendo a medida mínima igual a 0,0 mm e a máxima de 200,9 mm, bem como mediana de 21,8 mm. Assim, 50% dos registros tiveram valores menores ou iguais ao valor obtido para a mediana.

A Figura 7 ilustra o gráfico de caixa para a variável, em que é possível notar que 25% das observações apresentam valores menores ou iguais a 1,6 mm, as quais correspondem ao primeiro quartil.

A Tabela 10 ilustra os intervalos das classes e as suas probabilidades determinadas pelos modelos polinomiais de diferentes ordens. Foram avaliados polinômios da segunda a sexta ordem, tomando por base seus coeficientes de regressão e os erros associados.

Tabela 11. Polinômios e seus valores de variância (σ^2), erro padrão (ϵ) e coeficientes de regressão (R^2).

Ordem	Função	Σ^2	ϵ	R^2
2	$Pp(t) = 0,0106t^2 - 0,1557t + 0,5497$	0,0209	0,0504	0,8904
3	$Pp(t) = -0,0022t^3 + 0,0466t^2 - 0,3218t + 0,7369$	0,0222	0,0327	0,9602
4	$Pp(t) = 0,0005t^4 - 0,0139t^3 + 0,1326t^2 - 0,557t + 0,9204$	0,0357	0,1011	0,9825
5	$Pp(t) = -0,0001t^5 + 0,0044t^4 - 0,0533t^3 + 0,3085t^2 - 0,8919t + 1,1236$	0,8580	1,2010	0,9900
6	$Pp(t) = 7E^{-5}t^6 - 0,0025t^5 + 0,0348t^4 - 0,2435t^3 + 0,9105t^2 - 1,7742t + 1,5707$	0,0537	0,2117	0,9977

Tabela 12. Intervalos das classes, probabilidades ajustadas pelo modelo e os respectivos níveis de risco.

Classes	Intervalo (mm)	Probabilidade pelo modelo ajustado	Risco
1	0,00 - 20,09	0,4826	baixo
2	20,10 - 40,19	0,2336	baixo
3	40,20 - 60,29	0,108	médio
4	60,30 - 80,39	0,0524	médio
5	80,40 - 100,49	0,0254	médio
6	100,50 - 120,59	-0,0024	alto
7	120,60 - 140,69	-0,0484	alto
8	140,70 - 160,79	-0,1180	alto
9	160,80 - 180,89	-0,2046	alto
10	180,90 - 200,99	-0,2896	médio

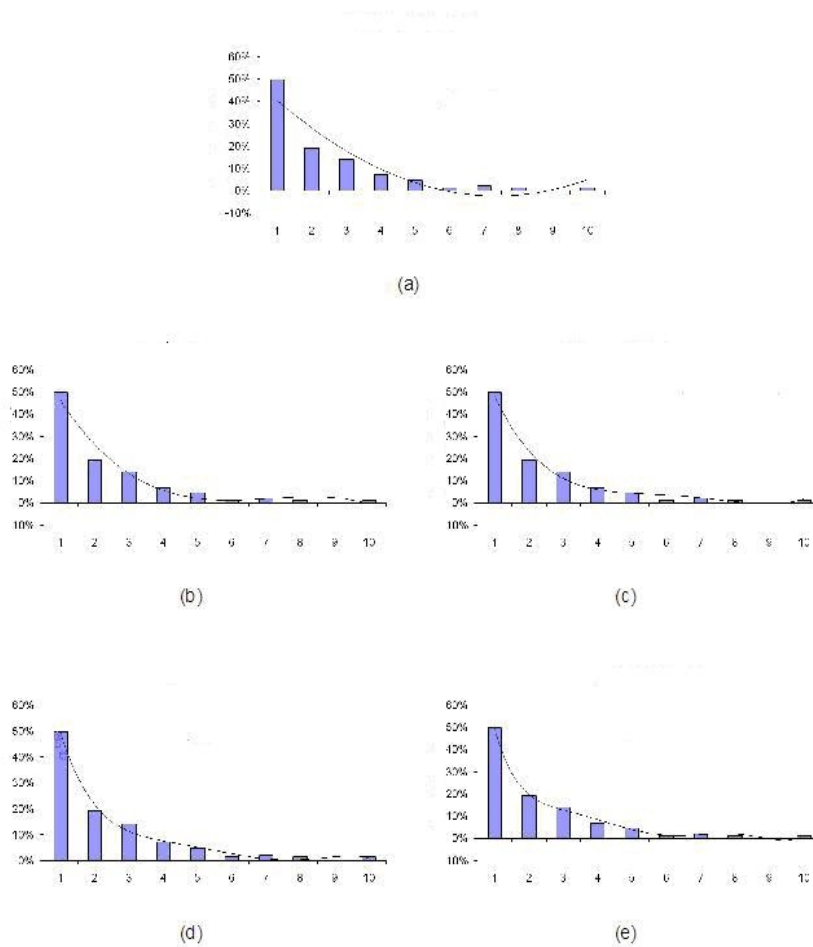


Fig. 8. Ajustes de modelos para a função de probabilidades para a variável Pp, em que os eixos representam, respectivamente, a freqüência de ocorrência e sua classe. Os valores de R^2 , respectivamente, para os polinômios de segunda a sexta ordem, foram: a) 0,8904; b) 0,9602; c) 0,9825; d) 0,9900; e) 0,9977.

Umidade Relativa (UR)

A umidade relativa, dada em porcentagem, é obtida pela média dos valores diários registrados durante uma semana. Como observado na Tabela 13, entre as medidas descritivas desta variável, observou-se uma média de 86,82%, mínimo de 77,51%, máximo de 92,44% e mediana de 87,65%, indicando que 50% dos registros realizados foram menores ou iguais ao valor da mediana.

A Figura 9 ilustra o gráfico de caixa para esta variável e permite observar que 25% das observações apresentam valores menores ou iguais a 84,53%, o que corresponde ao primeiro quartil.

A Tabela 14 ilustra os intervalos das classes e suas probabilidades determinadas pelos modelos polinomiais de diferentes ordens. Foram avaliados polinômios da segunda a sexta ordem, tomando por base seus coeficientes de regressão e os erros associados.

A Tabela 15 exhibe as diferentes funções polinomiais, suas ordens de ajuste, e os valores de variância, erro padrão e coeficientes de regressão encontrados.

A Figura 10 demonstra a distribuição das probabilidades de ocorrência de cada classe de intervalo para a variável UR e as curvas ajustadas com polinômios de ordem 2 à ordem 6.

O modelo selecionado com base no coeficiente de regressão e o erro padrão foi o descrito pelo polinômio de quinta ordem, cujos valores de R^2 e ϵ foram de 0,6847 e 0,0458 respectivamente. Assim, para esta variável, considera-se a Tabela 16, na qual são demonstrados os intervalos das classes, suas probabilidades determinadas pelo modelo escolhido, juntamente com os níveis de favorabilidade a ocorrência da Sigatoka-negra. A Tabela 17 ilustra os intervalos das classes e as suas probabilidades normalizadas.

Tabela 13. Número de registros e medidas descritivas de UR [%].

Variável	Grandeza
N	48
Média	86,82
Mediana	87,65
Desvio padrão	3,93
Variância	15,48
Mínimo	77,51
Máximo	92,44
Q1	84,53
Q2	87,65
Q3	89,71

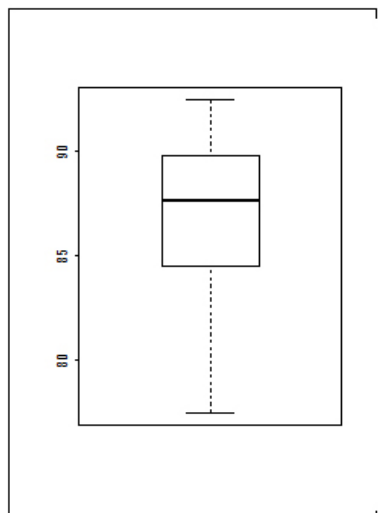


Fig. 9. Gráfico de caixa para os valores de UR.

Tabela 14. Intervalos das classes e probabilidades ajustadas pelos modelos polinomiais de segunda a sexta ordem.

Classes	Intervalo [°C]	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6
1	77,51 - 79	0,0383	0,0376	0,0277	0,0267	0,0216
2	79,01 - 80,49	0,0486	0,0483	0,0615	0,0628	0,0802
3	80,5 - 81,99	0,0601	0,0593	0,0727	0,0682	0,041
4	82 - 83,48	0,0728	0,0702	0,0799	0,0655	0,0036
5	83,49 - 84,98	0,0867	0,0811	0,0969	0,068	-0,0955
6	84,99 - 86,47	0,1018	0,0918	0,1327	0,0817	-0,3848
7	86,48 - 87,96	0,1181	0,1021	0,1915	0,1078	-1,0166
8	87,97 - 89,46	0,1356	0,1121	0,2727	0,1452	-2,1842
9	89,47 - 90,95	0,1543	0,1214	0,3709	0,1925	-4,196
10	90,96 - 92,44	0,1742	0,1301	0,4759	0,251	-7,6075

Tabela 15. Polinômios e seus valores de variância (σ^2), erro padrão (ϵ) e coeficientes de regressão (R^2).

Ordem	Função	σ^2	ϵ	R^2
2	$UR(t) = 2E^{-05}t^3 + 0,0002t^2 + 0,0103t + 0,0271$	0,0026	0,0286	0,6550
3	$UR(t) = -0,0005t^3 + 0,0034t^2 + 0,0191t + 0,015$	0,0021	0,0199	0,6551
4	$UR(t) = -0,0002t^4 + 0,0051t^3 - 0,0369t^2 + 0,1118t - 0,0521$	0,0138	0,0973	0,6841
5	$UR(t) = 2E^{-05}t^5 - 0,0007t^4 + 0,0095t^3 - 0,0567t^2 + 0,1496t - 0,075$	0,0039	0,0458	0,6847
6	$UR(t) = -8E^{-05}t^6 + 0,0025t^5 - 0,0331t^4 + 0,2131t^3 - 0,7009t^2 + 1,0936t - 0,5535$	3,7527	1,9366	0,7459

Tabela 16. Intervalos das classes, probabilidades ajustadas pelo modelo e os respectivos níveis de risco.

Classes	Intervalo [%]	Probabilidade pelo modelo ajustado	Risco
1	77,51 - 79,00	0,0267	baixo
2	79,01 - 80,49	0,0628	baixo
3	80,50 - 81,99	0,0682	médio
4	82,00 - 83,48	0,0655	médio
5	83,49 - 84,98	0,0680	médio
6	84,99 - 86,47	0,0817	alto
7	86,48 - 87,96	0,1078	alto
8	87,97 - 89,46	0,1452	alto
9	89,47 - 90,95	0,1925	alto
10	90,96 - 92,44	0,2510	alto

Tabela 17. Intervalos das classes e probabilidades normalizadas.

Classes	Probabilidade
1	0,0000
2	0,3300
3	0,6700
4	0,3400
5	0,6503
6	0,7040
7	0,7497
8	0,8149
9	0,8977
10	1,0000

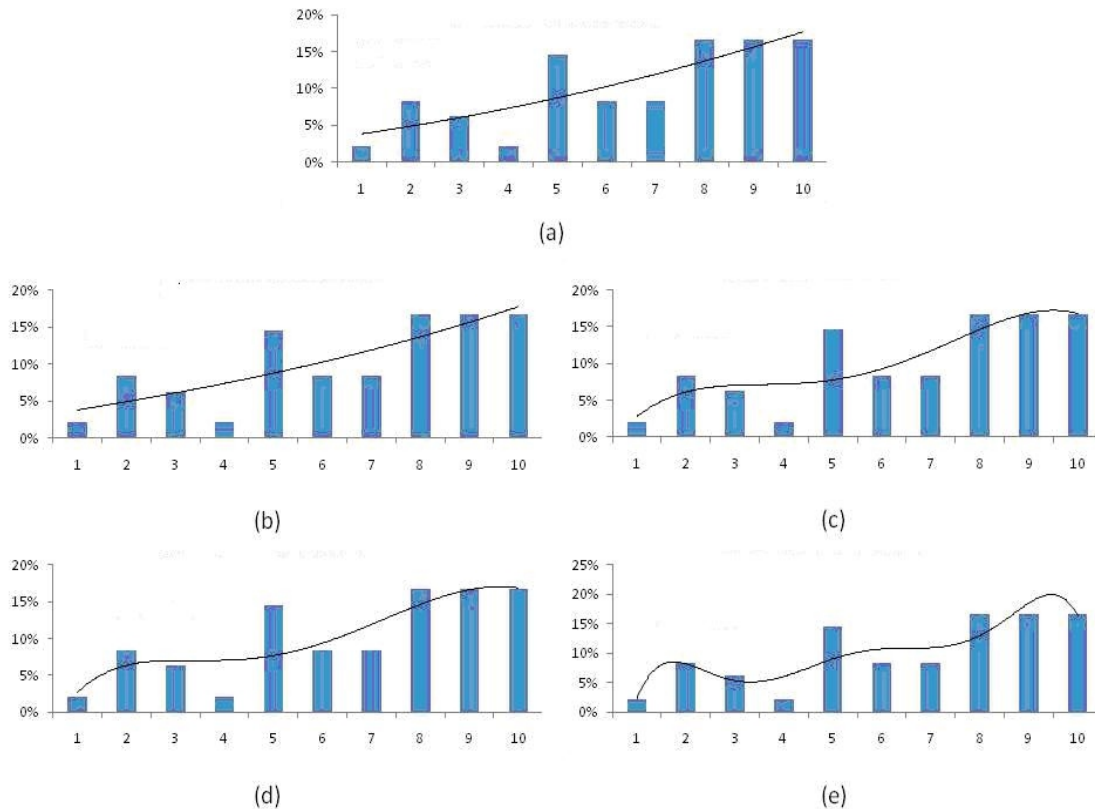


Fig. 10. Ajustes de modelos para a função de probabilidades para a variável UR, em que os eixos representam, respectivamente, a freqüência de ocorrência e sua classe. Os valores de R^2 , respectivamente, para os polinômios de segunda a sexta ordem, foram: a) 0,6550; b) 0,6551; c) 0,6841; d) 0,6847; e) 0,7459.

Duração do Período de Molhamento Foliar (DPM)

O período de molhamento foliar é definido como o período de tempo em que a superfície das folhas se apresenta coberta pelo orvalho. Esta variável foi estabelecida considerando a soma do número de horas em que ocorreu umidade relativa superior a 90%, também para o período de uma semana. Observou-se, conforme ilustra a Tabela 18, que para 48 medidas houve uma média de 87h28min, um mínimo de 33h00min, máximo de 133h00min e mediana de 90h30min, o que indicou que 50% dos registros assumiram valores menores ou iguais ao valor da mediana encontrada.

A Figura 11 ilustra o gráfico de caixa para a variável e permite determinar que 25% das observações apresentam valores menores ou iguais a 67h45min, as quais correspondem ao primeiro quartil.

A curva de distribuição das probabilidades com a curva do modelo polinomial ajustado e sua equação é apresentada na Figura 12.

A Tabela 19 ilustra os intervalos das classes e suas probabilidades determinadas pelos modelos polinomiais de diferentes ordens. Foram avaliados polinômios da segunda a sexta ordem, tomando por base seus coeficientes de regressão e os erros associados.

A Tabela 20 exhibe as diferentes funções polinomiais, suas respectivas ordens de ajuste, assim como os valores de variância, erro padrão e coeficientes de regressão encontrados.

A Figura 12 demonstra a distribuição das probabilidades de ocorrência de cada classe de intervalo para a variável UR e as curvas ajustadas com polinômios de ordem 2 à ordem 6. O modelo selecionado com base no coeficiente de regressão e o erro padrão foi o descrito pelo polinômio de sexta ordem, cujos valores de R^2 e ϵ foram de 0,7397 e 0,9474 respectivamente. Assim, para esta variável, considera-se a Tabela 21, na qual são demonstrados os intervalos das classes, suas probabilidades determinadas pelo modelo escolhido, junto com os níveis de favorabilidade a ocorrência da Sigatoka-negra. A Tabela 22 ilustra os intervalos das classes e suas probabilidades

Tabela 18. Número de registros e medidas descritivas de DPM [t].

Variável	Grandeza
N	48
Média	87h28min
Mediana	90h30min
Desvio padrão	25h34min
Variância	654h04min
Mínimo	33h00min
Máximo	133h00min
Q1	67h45min
Q2	90h30min
Q3	87h28min

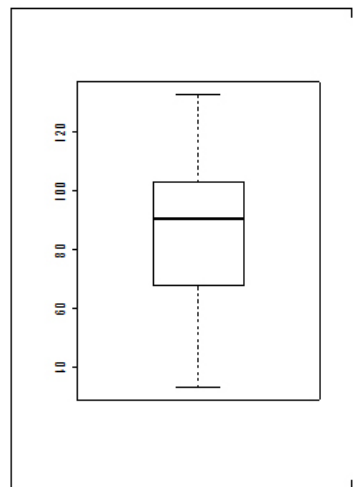


Fig. 11. Gráfico de caixa para os valores de DPM.

Tabela 19. Intervalos das classes¹ e probabilidades ajustadas pelos modelos polinomiais de segunda a sexta ordem.

Classes	Intervalo	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6
1	33h - 43h	0,0180	0,0336	0,052	0,0296	0,0406
2	44h - 53h	0,0621	0,0569	0,0339	0,0886	0,0484
3	54h - 63h	0,0972	0,0844	0,0650	0,0722	0,1234
4	64h - 73h	0,1233	0,1125	0,1093	0,1076	0,2278
5	74h - 83h	0,1404	0,1376	0,1404	0,2284	0,6046
6	84h - 93h	0,1485	0,1561	0,1415	0,4226	1,6576
7	94h - 103h	0,1476	0,1644	0,1054	0,6806	3,9754
8	104h - 113h	0,1377	0,1589	0,0345	1,0432	8,4994
9	114h - 123h	0,1188	0,136	-0,0592	1,6496	16,8358
10	124h - 133h	0,0909	0,0921	-0,1541	2,7854	31,7116

Tabela 20. Polinômios e respectivos valores de variância (σ^2), erro padrão (ϵ) e coeficientes de regressão (R^2).

Ordem	Função	σ^2	ϵ	R^2
2	$DPM(t) = -0,0045t^2 + 0,0576t - 0,0351$	0,0031	0,0350	0,3790
3	$DPM(t) = -0,0006t^3 + 0,0057t^2 + 0,0104t + 0,0181$	0,0032	0,0370	0,4070
4	$DPM(t) = 0,0004t^4 - 0,01t^3 + 0,0746t^2 - 0,1779t + 0,1649$	0,0073	0,0940	0,4790
5	$DPM(t) = 0,0004t^5 - 0,0099t^4 + 0,0942t^3 - 0,3914t^2 + 0,7099t - 0,3736$	0,4785	0,9470	0,7400
6	$DPM(t) = 0,0002t^6 - 0,0052t^5 + 0,0617t^4 - 0,3553t^3 + 1,0307t^2 - 1,3741t + 0,6826$	61,6028	11,0400	0,9520

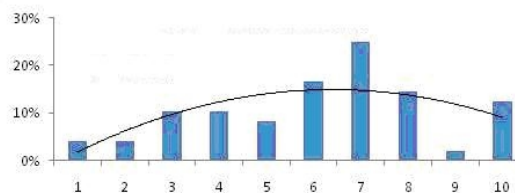
¹Os intervalos de tempo atribuídos para a definição das dez classes para a série temporal de dados de DPM foram deixados conforme divisão de tempo em horas e minutos, respectivamente.

Tabela 21. Intervalos das classes, probabilidades ajustadas pelo modelo e os respectivos níveis de risco.

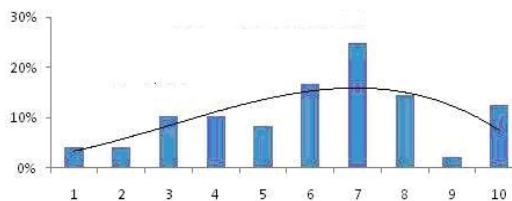
Classes	Intervalo (%)	Probabilidade pelo modelo ajustado	Risco
1	33h - 43h	0,0296	baixo
2	44h - 53h	0,0886	médio
3	54h - 63h	0,0722	médio
4	64h - 73h	0,1076	alto
5	74h - 83h	0,2284	alto
6	84h - 93h	0,4226	alto
7	94h - 103h	0,6806	alto
8	104h - 113h	1,0432	alto
9	114h - 123h	1,6496	alto
10	124h - 133h	2,7854	alto

Tabela 22. Intervalos das classes e as suas probabilidades normalizadas.

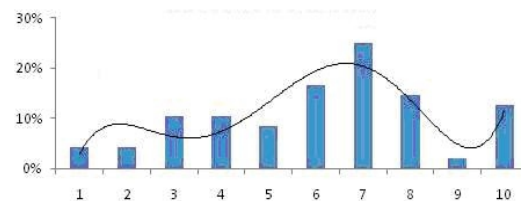
Classes	Probabilidade
1	0,0000
2	0,6700
3	0,3400
4	0,6373
5	0,6537
6	0,6800
7	0,7149
8	0,7640
9	0,8462
10	1,0000



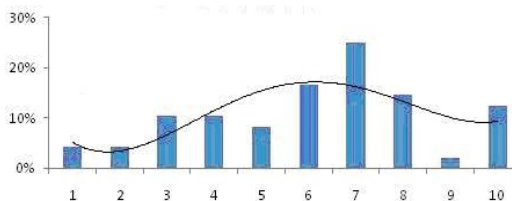
(a)



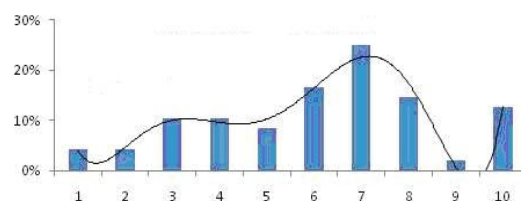
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 12. Ajustes de modelos para a função de probabilidades para a variável DPM, em que os eixos representam, respectivamente, a frequência de ocorrência e sua classe. Os valores de R^2 , respectivamente, para os polinômios de segunda a sexta ordem, foram: a) 0,3790; b) 0,4070; c) 0,4790; d) 0,7400; e) 0,9520.

Nível de Cinza dos pixels da imagem satelital (NCP) obtida na banda 2 do sensor Landsat 5 (TM)

O nível de cinza é um valor da imagem satelital relacionado à reflectância dos comprimentos de ondas do elemento de área considerado. O elemento de área considerado é obtido com base nos pixels da imagem satelital obtida com coordenadas geodésicas da área de cultura considerada. Trata-se, pois, do valor de nível de cinza dos pixels da banda 2 da imagem do sensor Landsat-5 (TM). A banda 2 foi utilizada, devido ao fato de expressar melhor as variações na faixa de comprimento de onda do verde ($0,725\mu\text{m}$ a $1,1\mu\text{m}$), na qual podem ser detectadas alterações relacionadas a possíveis estresses causados às plantas. Foram utilizadas imagens sob resolução espacial de 30 metros e referentes às órbitas-ponto 220/77. As imagens foram obtidas no catálogo de imagens de satélite do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)². A Figura 13 ilustra a operação para o processamento da imagem satelital com ampliação do contraste com base na operação do histograma da distribuição dos níveis de cinza, utilizando as ferramentas do programa computacional SPRING³ (CAMARA et al., 1996).

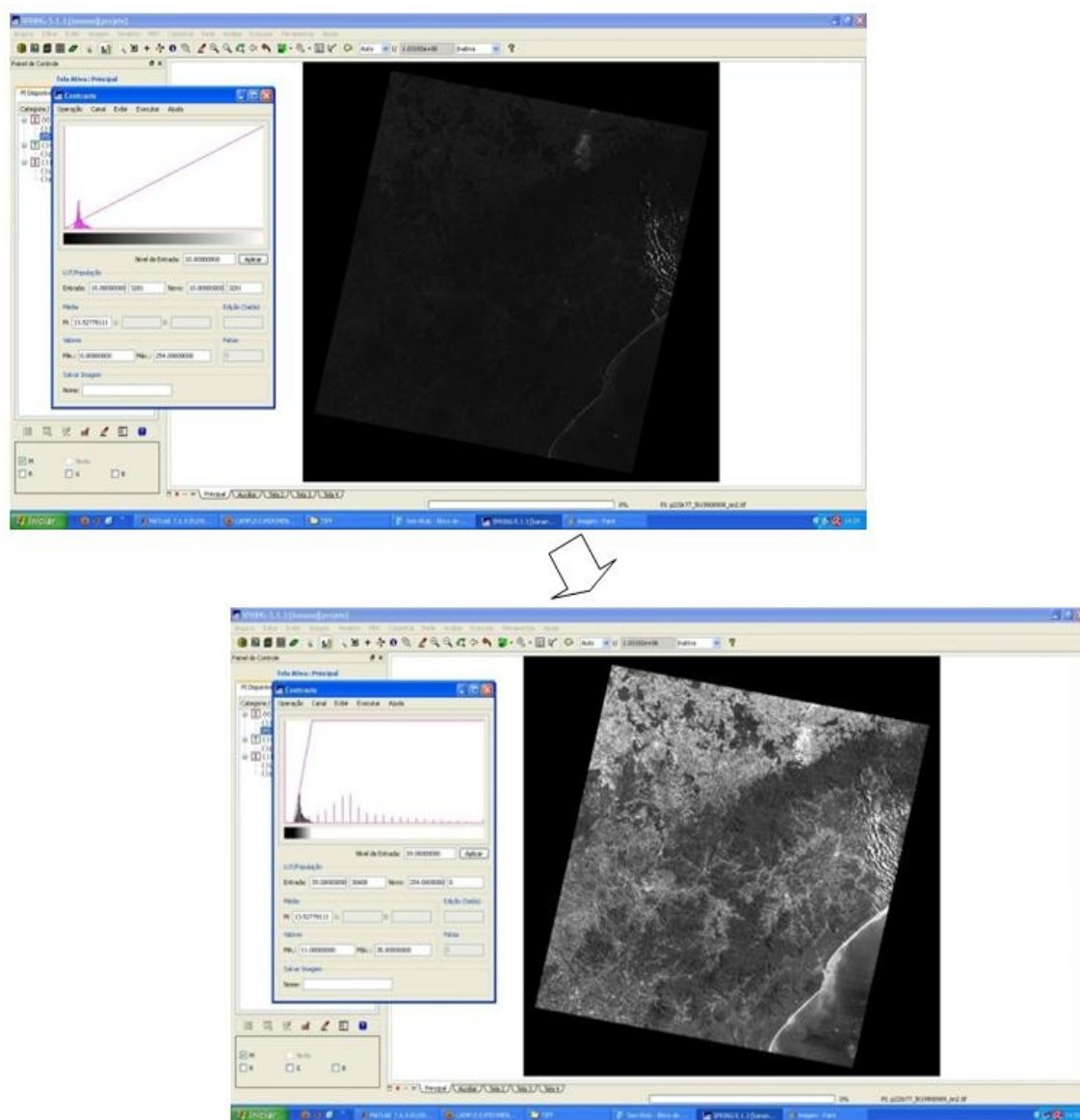


Fig. 13. Uso da técnica de processamento do histograma para melhoria do contraste da imagem.

²INPE: A série Landsat (Land Remote Sensing Satellite) iniciou em 1972 com o lançamento do satélite ERTS-1. Ela teve seqüência com os Landsat 2, 3, 4 e sobretudo com o Landsat 5 e 7. O principal objetivo do sistema Landsat foi o mapeamento multispectral em alta resolução da superfície da Terra. A antena do INPE em Cuiabá recebe de forma contínua imagens de todo o território nacional, desde os anos setenta. A órbita do Landsat é polar heliossíncrona com altitude nominal de 705 km e inclinação orbital de 98°. Completa o ciclo de imageamento da Terra a cada 16 dias. Os dois principais instrumentos imageadores do Landsat 5 envolveram os instrumentos sensores (MSS) Multispectral Scanner e (TM) Thematic Mapper. O sensor TM operou 7 bandas, cada uma representando uma faixa do espectro eletromagnético. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 possuem 30m de resolução geométrica, isto é, cada pixel da imagem representa uma área de 0,09 ha de terreno, enquanto a banda 6 possui resolução de 120m, cada pixel representa 1,4ha (Landsat, disponível em: <http://www.dgi.inpe.br>).

³SPRING é um SIG (Sistema de Informações Geográficas) no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. Foi desenvolvido pelo INPE em parceria com a Embrapa-CNPITA, IBM Brasil, TECGRAF da PUC do Rio de Janeiro e a PETROBRÁS/CENPES.

Para o estudo dos valores de NCP, primeiramente foi realizada uma análise dos valores de níveis de cinza dos pixels da banda 2 da imagem Landsat 5 (TM) e os valores do EED também. Como resultado, obteve-se o modelo polinomial de terceira ordem, o qual descreve o valor do nível de cinza em função do EED. O polinômio de terceira ordem foi selecionado por apresentar coeficiente de regressão igual a $R^2 = 0,7513$ e erro padrão $\epsilon = 178,871$, o que ocorreu devido a baixa resolução temporal.

Assim, considerando a disponibilidades de imagens do catálogo do INPE, e de acordo com o modelo selecionado, conforme ilustra a Figura 14, tem-se que a partir dos valores de NCP igual a 83,3, o EED tende a aumentar, até valores próximos de 107,7, quando apresentada uma depressão até 180,8 e novamente volta a apresentar valores maiores.

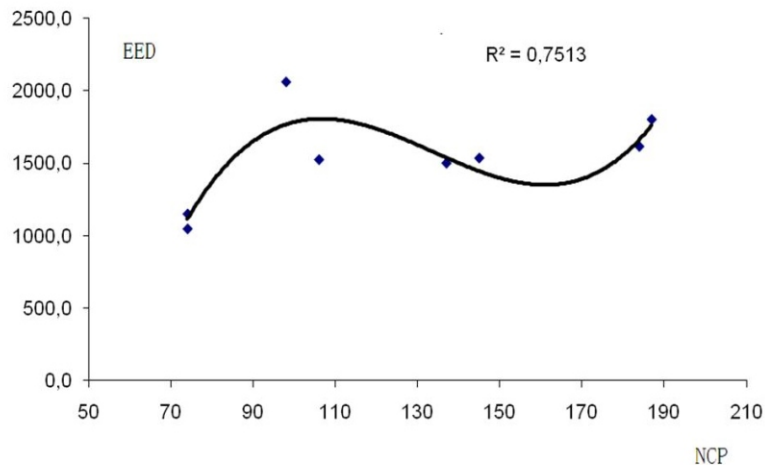


Fig. 14. Modelo polinomial $EED(NCP) = 0,0057 NCP^3 - 2,2817NCP^2 - 292,7400NCP - 10356$ ($R^2 = 0,7513$), que estabelece a relação entre as variáveis Estado da Evolução da Doença (EED) e Nivel de Cinza do Pixel (NCP) da Banda 2 da imagem Landsat 5 (TM).

Na Tabela 23 estão apresentados os níveis de favorabilidade determinados a partir da análise da curva de regressão. A Tabela 24 apresenta as medidas descritivas da variável, na qual se observou uma média igual a 75,2, mínimo de 10,0, máximo de 254,0 e mediana de 74,0, indicando que 50% dos registros assumiram valores menores ou iguais a este.

A Figura 15 ilustra o gráfico de caixa para a variável NCP e permite determinar que 25% das observações apresentam valores menores ou iguais a 52,0 as quais correspondem ao primeiro quartil.

A Tabela 25 ilustra os intervalos das classes e suas probabilidades determinadas pelos modelos polinomiais de diferentes ordens. Foram avaliados polinômios da segunda a sexta ordem, tomando por base seus coeficientes de regressão e os erros associados.

A Tabela 26 exhibe as diferentes funções polinomiais, suas ordens de ajuste, assim como os valores de variância, erro padrão e coeficientes de regressão.

A Figura 16 demonstra a distribuição das probabilidades de ocorrência de cada classe de intervalo para a variável NCP, e as curvas ajustadas com polinômios de ordem 2 à ordem 6.

Tabela 23. Intervalos das classes e seus níveis de favorabilidade a ocorrência da Sigatoka-negra.

Classes	Intervalo	Risco
1	10,0 - 34,4	baixo
2	34,5 - 58,8	baixo
3	58,9 - 83,2	baixo
4	83,3 - 107,6	alto
5	107,7 - 132,0	médio
6	132,1 - 156,4	médio
7	156,5 - 180,8	médio
8	180,9 - 205,2	alto
9	205,3 - 229,6	alto
10	229,7 - 255,0	alto

Tabela 24 – Número de registros e medidas descritivas de NCP.

Variável	Grandeza
N	960
Média	75,2
Mediana	74,0
Desvio padrão	34,3
Variância	7112,3
Mínimo	10,0
Máximo	254,0
Q1	52,0
Q2	74,0
Q3	95,0

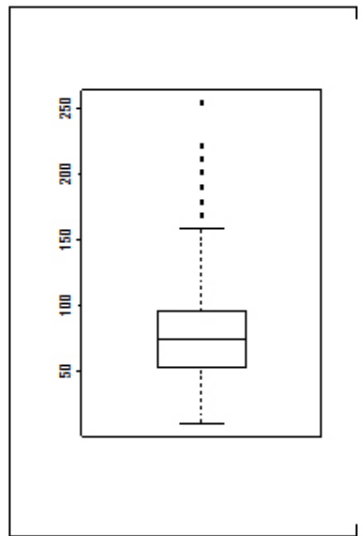


Fig. 15. Gráfico de caixa para os valores de NCP.

Tabela 25. Intervalos das classes e probabilidades ajustadas pelos modelos polinomiais de segunda a sexta ordem.

Classes	Intervalo	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6
1	10,0 - 34,4	0,1013	0,0254	0,0291	0,1126	0,1305
2	34,5 - 58,8	0,1368	0,1618	0,1577	0,0787	0,0174
3	58,9 - 83,2	0,1589	0,2216	0,2185	0,1888	0,2843
4	83,3 - 107,6	0,1676	0,2228	0,2235	0,2137	0,4308
5	107,7 - 132,0	0,1629	0,1834	0,1866	0,0850	0,6813
6	132,1 - 156,4	0,1448	0,1214	0,1237	-0,1769	1,6010
7	156,5 - 180,8	0,1133	0,0548	0,0525	-0,5348	3,9279
8	180,9 - 205,2	0,0684	0,0016	-0,0073	-1,0067	8,6208
9	205,3 - 229,6	0,0101	-0,0202	-0,0341	-1,7378	17,1233
10	229,7 - 255,0	-0,0616	0,0074	-0,0044	-3,0725	31,8438

Tabela 26. Polinômios e respectivos valores de variância (σ^2), erro padrão (ϵ) e coeficientes de regressão (R^2).

Ordem	Função	σ^2	ϵ	R^2
2	$EED(x) = -0,003x^2 + 0,0128x + 0,1285$	0,0086	0,0665	0,5725
3	$EED(x) = 0,0025x^3 - 0,0446x^2 + 0,2046x - 0,0877$	0,0102	0,0726	0,8868
4	$EED(x) = 9E^{-5}x^4 + 0,0006x^3 - 0,0306x^2 + 0,1665x - 0,0579$	0,0105	0,0753	0,8881
5	$EED(x) = -0,0006x^5 + 0,0157x^4 - 0,1562x^3 + 0,6707x^2 - 1,1695x + 0,7525$	0,6745	0,9581	0,7589
6	$EED(x) = 0,0003x^6 - 0,0095x^5 + 0,1307x^4 - 0,8779x^3 + 2,9546x^2 - 4,5165x + 2,4488$	62,4233	9,8338	0,9683

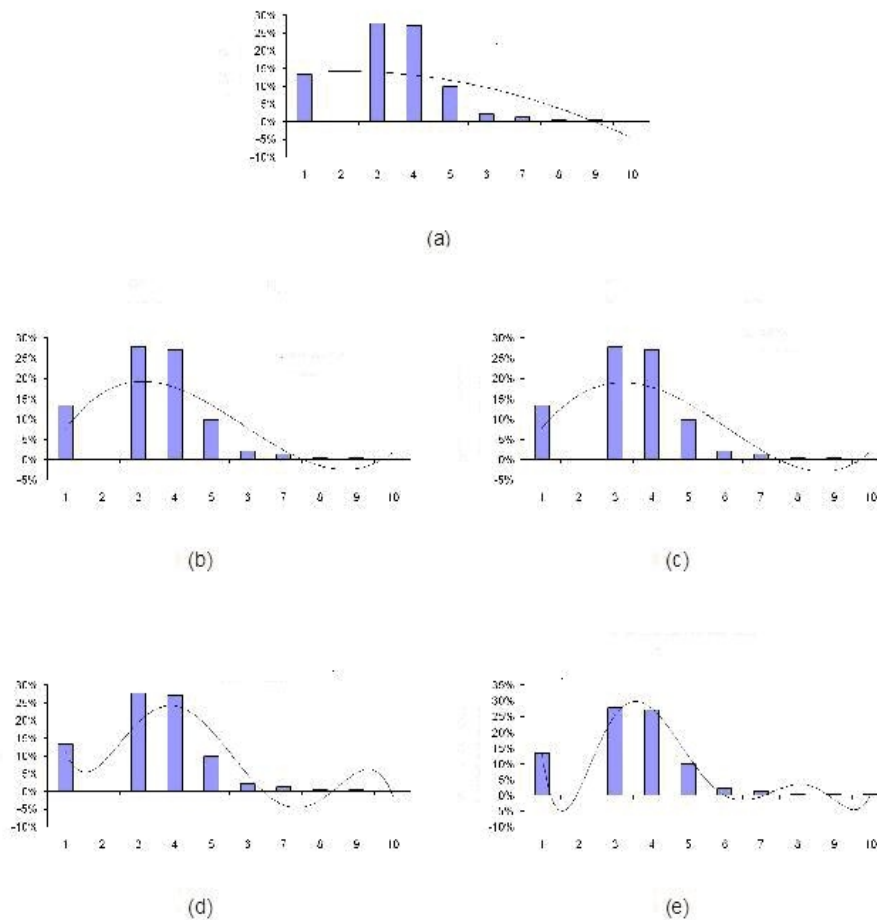


Fig. 16. Ajustes de modelos para a função de probabilidades para a variável EED(x), em que os eixos representam, respectivamente, a frequência de ocorrência e sua classe. Os valores de R^2 , respectivamente, para os polinômios de segunda a sexta ordem, foram: a) 0,5725; b) 0,8868; c) 0,8881; d) 0,7589; e) 0,9683.

O modelo selecionado com base no coeficiente de regressão e o erro padrão foi o descrito pelo polinômio de quinta ordem, cujos valores de R^2 e ϵ foram de 0,9581 e 0,7589 respectivamente. Assim, para esta variável, considera-se a Tabela 27, na qual são demonstrados os intervalos das classes, suas probabilidades determinadas pelo modelo escolhido, bem como os níveis de favorabilidade a ocorrência da Sigatoka-negra.

Tabela 27. Classes, intervalos e probabilidades ajustadas pelo modelo e os respectivos níveis de risco.

Classes	Intervalo (%)	Probabilidade pelo modelo ajustado	Risco
1	10,0 - 34,4	0,1126	Baixo
2	34,5 - 58,8	0,0787	Baixo
3	58,9 - 83,2	0,1888	baixo
4	83,3 - 107,6	0,2137	alto
5	107,7 - 132,0	0,0850	médio
6	132,1 - 156,4	-0,1769	médio
7	156,5 - 180,8	-0,5348	médio
8	180,9 - 205,2	-1,0067	alto
9	205,3 - 229,6	-1,7378	alto
10	229,7 - 255,0	-3,0725	alto

A Figura 17 ilustra o mapa de risco que é visualizado com a interface gráfica. A imagem de satélite permite, a partir do georeferenciamento de campo, o estabelecimento das coordenadas geográficas. A partir daí é possível a integração das variáveis de risco e o encontro das classes que podem ser conectadas, ou seja, aquelas que possuem vizinhos de valores iguais, ou com uma diferença dentro de um limite pré-estabelecido. Uma vez encontradas, as mesmas são unidas, gerando novas classes de primitivas que viabilizam a organização do mapa de risco em três níveis, a saber: alto (cor vermelha), médio (cor amarela) e baixo risco (cor verde).

Para o estudo de caso da propriedade de Vale do Ribeira foram encontrados alto e médio risco da presença da Sigatoka-negra. A geração do mapa de risco que é obtido a partir da operação com cada pixel da imagem ortoretificada tratado com base no resultado da aplicação do modelo polinomial que estabelece a relação entre as variáveis Estado da Evolução da Doença (EED) e Nível de Cinza do Pixel (NCP), bem como com os demais modelos para as variáveis temperatura mínima (T_{\min}), temperatura máxima (T_{\max}), precipitação acumulada (Pp), umidade relativa do ar (UR) e duração do período de molhamento foliar (DPM) para a obtenção da figura de risco de ocorrência de Sigatoka-negra correspondente.

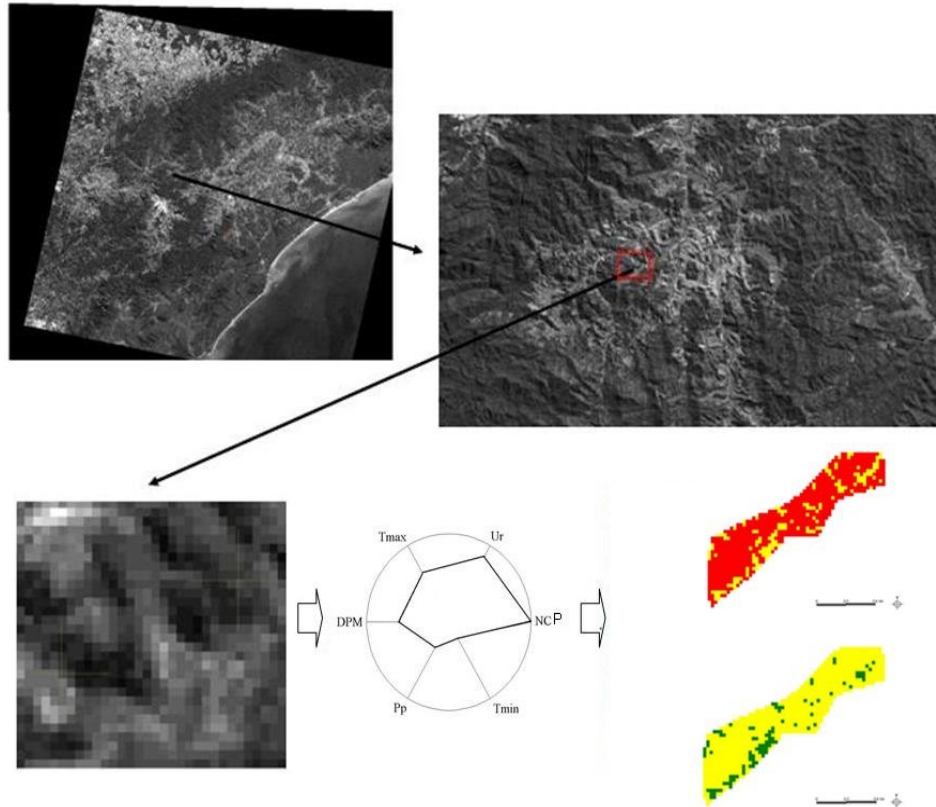


Fig. 17. Definição do círculo de raio unitário para a geração do risco integrado, obtido a partir da operação de intersecção das probabilidades de ocorrência da Sigatoka-negra obtidas a partir das informações do nível de cinza de cada pixel da imagem digital (NCP), temperatura mínima (T_{\min}), temperatura máxima (T_{\max}), precipitação acumulada (Pp), umidade relativa do ar (UR) e duração do período de molhamento foliar (DPM), expresso pela área da figura de mérito no interior do círculo. A operação é realizada para cada pixel da imagem e o valor calculado é retornado para as mesmas coordenadas espaciais para a geração do mapa de risco. Os mapas de risco são apresentados para dois períodos distintos.

Conclusões

A seleção de modelos polinomiais demonstrou-se viável e promissora no que diz respeito à avaliação de riscos da ocorrência da Sigatoka-negra. O estudo de caso auxiliou na validação da abordagem desenvolvida para a definição de uma figura de risco integrado, o que colabora com mais um passo para o auxílio ao processo de tomada de decisão. Adicionalmente, os modelos estabelecidos poderão encontrar uso em programas de controle da Sigatoka-negra, de forma a minimizar o uso de energia e a redução da utilização de fungicidas químicos, o que poderá auxiliar o produtor tanto no ganho econômico como ambiental.

Referências

ALVAREZ, C. E.; GARCÍA, V.; ROBLES, J.; DÍAZ, A. Influence des caractéristiques du sol sur l'incidence de la maladie de Panamá. *Fruits*, Paris, v. 36, n. 2, p. 71-81, 1981.

ALVES, E. J. (Org.). **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI: Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 1999. 585p.

BENDINI, H. N.; SILVA, S. H. M-G. da; MORAES, W. S.; CRUVINEL, P. E. Modelo para análise de risco de ocorrência da Sigatoka-negra em bananais do Vale do Ribeira-SP, baseado no uso de classificação de dados organizados em distribuições polinomiais. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA - CLIA, 9.,; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 39, 2010, Vitória - ES. **A engenharia agrícola e o desenvolvimento das propriedades familiares: anais.** [S. l.] SBEA: ALIA, 2010. 1 CD-ROM.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico.** São Paulo: Ceres, 1996, 289p.

BERGER, R. D. Description and application of some general models for plant disease epidemics. In: LEONARD, K. J.; FRY, W. E. (Ed.). **Plant disease epidemiology: genetics, resistance, and management.** New York: Macmillan, 1989. v. 2. p. 15-149.

BROWN, R.; STECKLER, J. Prescriptions maps for spatially variable herbicide application in no-till corn. **Transactions of the ASAE**, [S. l.], v. 38, n. 6, p. 1659-1666, 1995.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CORDEIRO, Z. J. M.; SHEPHERD, K. DANTAS, J.L.L. Black Sigatoka: impact and control strategies. **Acta Horticulturae**, Vitória, n. 370, p. 133-137, 1995.

CRUVINEL, P. E.; SUZUMURA FILHO, Y.; MANTOVANI, E. C. Análise da qualidade da aplicação georeferenciada de chuva artificial em área de plantio com visão computacional e rede neural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 35., 2006, João Pessoa. **Agroenergia e desenvolvimento tecnológico: anais.** João Pessoa: SBEA, 2006. 1 CD-ROM.

GASPAROTTO, L. **Epidemiologia do mal das folhas (*Mycrocyclus ulei*) da seringueira (*Hevea spp.*).** 124 f. 1988. Tese (Doutorado em Epidemiologia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

GOES, A. de; MORETTO, K. C. K. Mal-do-Panamá. In: RUGGIEIRO, C. **Bananicultura. Jaboticabal:** FUNEP, 2001. p. 419-435.

IEA - INFORMAÇÕES ESTATÍSTICAS DA AGRICULTURA. **Série Técnica Apta**, v. 15, n. 1, p. 11, 2004. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/ianu-est.php>>. Acesso em: 17 abr. 2005.

HANADA, R. E.; GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J. C. R. Sobrevivência de conídios de *Mycosphaerella fijiensis* em diferentes materiais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 408-411, 2002. IBGE. Produção Agrícola.

IBRAF - INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS. **Perspectivas da Fruticultura Brasileira.** 2008. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/news_item.asp?NewsID=3345>. Acesso em: 05 maio 2010.

MANTOVANI, E. **Avanços na pesquisa sobre agricultura de precisão no Brasil.** 2002. Disponível em: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CEwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fainfo.cnptia.embrapa.br%2Fdigital%2Fbitstream%2Fitem%2F33858%2F1%2FPalestra-Avancos-pesquisa.pdf&ei=LstMT_n2FtSztwfpMfFP&usq=AFQjCNGlc2II4xpwDwarNcA1ucZDWtnZww&sig2=ptZlhlq1Qi02Fz62yycDdA>. Acesso em: 28 fev. 2012.

MATSUURA, F. A. U.; FOLEGATTI, M. I. da S. **Banana: pós-colheita.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 71 p. (Frutas do Brasil, 16).

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, [S. l.], v. 37, p. 617-639, 1986.

MEDINA, V. M.; SOUZA, J. da S.; SILVA, S. de O. **Como climatizar bananas.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 20 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 25).

MONTEIRO, L. O fantasma negro. **Safra**, Goiânia, v. 2, n. 20, p. 9-10, 2001.

MORAES, W. da S.; MENDONÇA, J. C.; FUKUDA, E.; MENDES, C. das.; LIMA, J. D.; SANTOS, A. J. dos. Dominância da Sigatoka-negra em bananais do Vale do Ribeira. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 3, p. 193, 2005. Supl.

SIVIERO, A.; LEDO, A. da S. Avaliação de genótipos de banana à sigatoca-amarela na amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 724-726, 2002.

STOVER, R. H.; SIMMONDS, N. W. **Bananas**. 3rd ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1987. 468 p.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução a agricultura de precisão: conceitos e vantagens, **Ciência Rural**, [S. l.], v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos - SP
Telefone: (16) 2107 2800 - Fax: (16) 2107 2902
www.cnpdia.embrapa.br - sac@cnpdia.embrapa.br

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

G O V E R N O F E D E R A L
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA