





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

HUGO DO N. BENDINI¹, SILVIA H. M. G. DA SILVA², WILSON DA S. MORAES³,
PAULO E. CRUVINEL⁴

¹ Engenheiro Agrônomo, Pós-Graduando, UFSCar/São Carlos - SP, hugo_bendini@dc.ufscar.br

² Doutora em Agronomia (Energia na Agricultura), Profª. Assistente, UNESP/Registro - SP.

³ Doutor em Agronomia (Fitopatologia), Prof. Substituto, UNESP/Registro - SP.

⁴ Engenheiro, Doutor, Pesquisador, EMBRAPA-CNPq/São Carlos - SP.

Apresentado no

IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010
XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2010
25 a 29 de julho de 2010 - Vitória - ES, Brasil

RESUMO: A bananicultura tem grande importância social no que diz respeito à geração de empregos, aumento das áreas cultivadas e como fonte nutricional, pois seus frutos constituem alimento básico da população carente de diversos países e é consumida por todas as camadas sociais da população. A Sigatoka Negra, causada pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, é a mais severa e destrutiva doença da bananeira em todas as áreas produtoras, sendo responsável por perdas de produção superiores a 50%. A doença ocorre nas folhas provocando estrias marrons e manchas negras necróticas que reduzem os tecidos fotossintetizantes e, conseqüentemente, os rendimentos brutos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo para avaliação do risco de aparecimento da doença em função da vulnerabilidade decorrente da composição desfavorável de fatores de solo, da própria planta e da atmosfera. A metodologia desenvolvida demonstrou-se viável e promissora no que diz respeito a detecção de épocas e locais com condições favoráveis a ocorrência da Sigatoka Negra, de modo que poderá servir como subsídio para implementação de sistemas de alertas, programas de controle da doença de forma a otimizar o uso de energia, principalmente reduzindo a utilização de fungicidas químicos, o que reflete um ganho econômico e ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem computacional, clima, epidemiologia.

MODEL FOR ANALYSIS OF RISK OF OCCURRENCE OF BLACK SIGATOKA IN BANANA CROPS IN THE VALE DO RIBEIRA-SP, BASED ON USE OF CLASSIFICATION OF DATA ARRANGED IN POLYNOMIAL DISTRIBUTIONS

ABSTRACT: Bananas crops have a social importance to employment generation, increase in cultivated areas and as nutritional source. Black Sigatoka caused by *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, is the most severe and destructive disease of banana, accounting for production losses of more than 50%. The disease occurs in the leaves causing brown streaks and black spots that reduce the necrotic photosynthetic tissues and, consequently, the production. The objective of this study was to develop a model to evaluate the risk of disease in terms of vulnerability resulting from the composition of unfavorable factors of soil, the plant and the atmosphere. The methodology developed proved to be feasible and promising as regards the detection times and places with favorable conditions for the occurrence of Black Sigatoka, so that could serve as support for implementation of early warning systems, programs of disease control in order to optimize the use of energy, mainly by reducing the use of chemical fungicides, which reflects an economic and environmental gain.

KEYWORDS: computational modeling, climate, epidemiology.

INTRODUÇÃO: A Sigatoka Negra é causada pelo fungo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (fase sexuada ou perfeita), cuja fase assexuada ou imperfeita denomina-se *Paracercospora fijiensis* (Morelet). A doença inicia-se pela infecção das folhas mais novas da bananeira e evolui para estrias marrons na face inferior e depois para manchas negras na superfície superior, durante o desenvolvimento destas folhas (MORAES et al., 2005). O estado de São Paulo é o segundo maior produtor de banana do Brasil, sendo que a região do Vale do Ribeira é responsável por cerca de 80% de sua produção. O clima da região, caracterizado por alta umidade relativa durante a maior parte do ano e um dos maiores índices pluviométricos do país, é propício tanto para o desenvolvimento das bananeiras, que atingem uma produtividade média de 22,5 ton/ha, como também para o fungo agente causal da Sigatoka Negra. Tal fato gera grandes preocupações, uma vez que a principal atividade econômica da região é a bananicultura. Além disso, em regiões onde a doença se encontra totalmente disseminada, e as condições climáticas são favoráveis, a queda na produção comercial pode chegar a 100% em cultivares como 'Prata', 'Maçã', 'd'Angola' e as do subgrupo Cavendish. A escolha do método adequado de controle deve considerar os aspectos econômicos (custos de proteção e mercado), sociais e ambientais. Nas áreas onde a doença ainda não ocorre deve-se praticar o princípio de exclusão, ou seja, evitar a introdução do patógeno. O controle da doença geralmente é feito por meio de pulverizações alternadas de fungicidas sistêmicos e protetores, e são determinadas em função do monitoramento semanal do progresso da doença. Entretanto, este monitoramento é uma tarefa trabalhosa, pois requer uma mão-de-obra especializada para tal, além de uma infra-estrutura mínima. Os registros semanais dos dados de monitoramento indicam a necessidade ou não da aplicação de fungicidas, cuja decisão é determinada pelos dados climáticos do local. A influência do clima nas doenças se faz principalmente sob a influência de períodos de molhamento foliar favoráveis a ocorrência de epidemias e temperatura durante este período (BERGER, 1989; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996). Uma rede de estações meteorológicas pode servir de base para elaborar mapas de zonas de risco de epidemias para definir um zoneamento agroclimático (CARAMORI et al., 1994; PUGSLEY et al., 2001). No caso de doenças de plantas, os mapas de zonas de risco acoplados aos modelos de simulação, podem ser úteis para indicar áreas geográficas ou até mesmo, épocas do ano mais favoráveis à ocorrência de epidemias. Sistemas podem ser utilizados para verificar se as condições meteorológicas estão favoráveis à ocorrência de infecção pelos patógenos. Estes sistemas, normalmente são baseados na combinação da ocorrência de condições biológicas e meteorológicas que afetam o desenvolvimento da doença em plantas (FERNANDES, 1996; FRY et al., 1982; JOHNSON, 1987; KRAUSE et al., 1975). O conhecimento da influência do clima no ciclo biológico e na atividade do patógeno permite que este seja expresso em forma de relações quantitativas, sendo que, em alguns casos é possível produzir regras ou modelos matemáticos que refletem a biologia do patógeno em função dos elementos do clima (WMO, 1988). Neste contexto, o presente trabalho teve o objetivo de desenvolver um modelo computacional para avaliação do risco de aparecimento da Sigatoka Negra em função da vulnerabilidade decorrente da composição desfavorável de uma série de fatores do sistema planta-patógeno-ambiente. Assim, o modelo a ser testado envolveu as variáveis precipitação acumulada (Pp), temperaturas máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidade relativa (Ur), duração do período de molhamento foliar (DPM), índice de reflectância (NC) e estágio de evolução da doença (EE). Os resultados foram avaliados em escala de propriedade, tomando como base um estudo de caso na região considerada.

MATERIAL E MÉTODOS: A área estudada foi uma propriedade localizada no Bairro do Guaraú, Município de Jacupiranga, no Vale do Ribeira, Estado de São Paulo, entre as coordenadas UTM, X1 = 791903.9 m, Y1 = 7244702.4 m e X2 = 792842.9 m, Y2 = 7245578.9 m. Nessa propriedade, a Sigatoka Negra foi monitorada a campo, semanalmente, durante três anos, de 2005 a 2007. O monitoramento foi realizado em duas áreas, sendo uma tratada com fungicidas e, outra sem tratamento algum. Assim foram obtidos os dados de Estado de Evolução (EE). Os dados climáticos foram obtidos a partir da estação meteorológica do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), do município de Jacupiranga-SP. No caso da Umidade Relativa (Ur), os dados foram obtidos pela estação de superfície automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do município de Iguape-SP. Os dados de Duração do Período de Molhamento Foliar (DPM) foram determinados utilizando a metodologia de Gasparotto (1988). Para obtenção dos dados relacionados à reflectância dos comprimentos de onda na faixa do verde, foi utilizada a Banda 2 (0,725µm a 1,1µm)

de imagens do sensor TM LANDSAT-5. Assim, utilizando o Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING), foram executadas operações com as imagens, com o objetivo de extrair os valores de NC. Para concepção do modelo, realizou-se o estudo das distribuições de probabilidades dos dados dentro de diferentes intervalos, e efetuou-se o ajuste dos modelos por regressão polinomial. Como critério de análise para escolha do melhor modelo, utilizou-se o erro padrão (ϵ) e o coeficiente de determinação (R^2). A partir do conhecimento teórico e prático sobre a doença, classificou-se as classes das variáveis em 3 níveis de favorabilidade a ocorrência da Sigatoka Negra, sendo eles alto, médio e baixo. Feito isso, procedeu-se a normalização dos valores de probabilidades de ocorrência das classes, dentro de cada nível de favorabilidade. Deste modo, valores entre 0 e 0,33 corresponderam ao nível baixo, entre 0,34 e 0,67 ao nível médio e, entre 0,68 e 1 ao nível alto. Para elaboração do mapa de risco, considerou-se para o estudo de caso a primeira semana de julho de 2007. Desta forma, de acordo com a metodologia proposta por Cruvinel et al. (2006), as probabilidades normalizadas foram “plotadas” nos eixos de uma circunferência de raio unitário e o risco total foi correspondente à área inscrita obtida pela união dos vértices da figura poligonal formada, que pode ser determinada pela soma das áreas dos triângulos formados dentro da figura. Uma vez conhecidos um dos ângulos, e os dois lados de cada triângulo, a área total da figura pode ser determinada pela seguinte Equação 1.

$$a_T = \sum_{i=1}^6 \frac{a_i b_i \text{sen } \alpha_i}{2} \quad (1)$$

em que,

a_T - área total da figura;

a, b - lados conhecidos dos triângulos;

α - ângulo formado entre os vetores, neste caso, como são 6 vetores, o ângulo é de 60° .

Após a integração da área da figura de mérito, foi gerada uma nova matriz de valores, agora correspondentes ao risco total de ocorrência da Sigatoka Negra para a respectiva data, ou seja, o mapa de risco, propriamente dito.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Tabela 1 ilustra as funções de distribuições de probabilidades selecionadas para cada variável do sistema, bem como seus respectivos valores de erro padrão, e coeficiente de determinação. A Figura 1 ilustra o mapa de risco, gerado a partir do resultado da integração das probabilidades de ocorrência dos intervalos correspondentes aos diferentes níveis de riscos, de cada variável, para a área e época considerada no estudo de caso. Observa-se que não houveram valores correspondentes a classe de risco baixo, em nenhum pixel da imagem considerada, o que pode ser justificado pelo fato de que nesta propriedade, a doença já se encontra totalmente disseminada. Além disso, este resultado ratifica o fato de que a região do Vale do Ribeira apresenta na maior parte do ano, condições favoráveis a ocorrência da Sigatoka negra, principalmente pelos altos índices pluviométricos, e umidade relativa, o que faz com que não haja um período bem definido de seca, mas sim um período menos chuvoso, correspondente aos meses de maio a setembro, e outro mais chuvoso, correspondente ao restante do ano. Essa informação também foi observada por Moraes e colaboradores (MORAES et al, 2005), em estudos sobre a epidemiologia da doença na região.

TABELA 1. Funções de distribuições ajustadas pelo modelo polinomial, para as diferentes variáveis.

Variável	Função	Erro padrão	R^2
Tmax	$f(x) = -5E-05x^3 + 0,0016x^4 - 0,0192x^3 + 0,094x^2 - 0,1415x + 0,0675$	0,0730	0,8937
Tmin	$f(x) = -0,0006x^3 + 0,0084x^2 - 0,0074x + 0,013$	0,0221	0,9307
Pp	$f(x) = 0,0005x^4 - 0,0139x^3 + 0,1326x^2 - 0,557x + 0,9204$	0,1011	0,9825
DPM	$f(x) = 5E-05x^6 - 0,0018x^5 + 0,0257x^4 - 0,1833x^3 + 0,6633x^2 - 1,071x + 0,5882$	0,0667	0,9230
NC	$f(x) = -0,0006x^5 + 0,0157x^4 - 0,1562x^3 + 0,6707x^2 - 1,1695x + 0,7525$	0,9581	0,7589
UR	$f(x) = 9E-05x^5 - 0,0019x^4 + 0,0112x^3 - 0,0091x^2 - 0,042x + 0,1007$	0,0408	0,9269

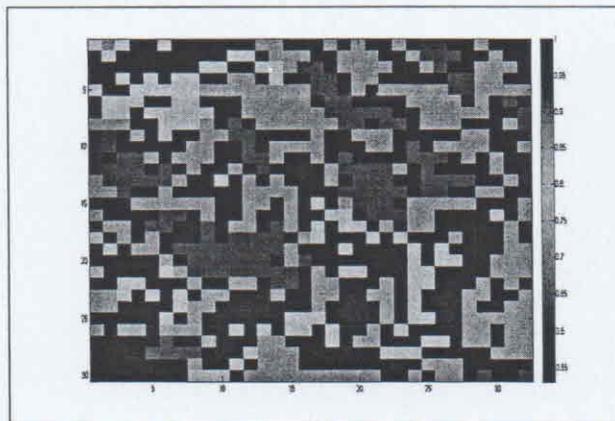


FIGURA 1. Mapa de risco de ocorrência da Sigatoka Negra na propriedade do estudo.

CONCLUSÕES: A metodologia desenvolvida demonstrou-se viável e promissora no que diz respeito a detecção de épocas e locais com condições favoráveis a ocorrência da Sigatoka Negra, para a região considerada. Desta forma, este modelo poderá servir como subsídio para implementação de sistemas de alertas, programas de controle da doença de forma a otimizar o uso de energia, principalmente reduzindo a utilização de fungicidas químicos, o que reflete um ganho econômico e ambiental.

REFERÊNCIAS

- 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.
- CARAMORI, P. H., ANDROCIOLI FILHO, A., LIBERAL, E.G. (Eds.). *Simpósio Internacional sobre café adensado 1994*. Londrina: IAPAR, 1994. 312p.
- 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.
- FERNANDES, J. M. Manejo de pragas e doenças e a superestrada da informação: situação atual e perspectivas. In: SEMINÁRIO SUL-BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA AGRICULTURA, 1, 1996, Passo Fundo. *Anais...* Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, p. 24-29, 1996.
- FRY, W. E. Epidemiology: dynamics of interacting pathogen and host populations. In: FRY, W. E. (Ed.). *Principles of plant management*. New York: Academic Press. 1982. p. 43-65.
- GASPAROTTO, L. *Epidemiologia do mal das folhas (Mycrocyclus ulei) da seringueira (Hevea spp)*. 1988. 124 f. Tese (Doutorado em Epidemiologia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- JONHSON, K. B. The role of predictive systems in disease management. In: TENG, P. S. *Crop loss assesment and pest management*. American Phytopathological Society, St. y Paul, MN, USA. 1987. 176-90 p.
- KRAUSE, R. A.; MASSIE, L. B.; HYRE, R. A. BLITECAST: A computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Reporter*, Washington, US, v. 59, n. 2, p. 95-98, 1975.
- MORAES, W. da S.; MENDONÇA, J. C.; FUKUDA, E.; MENDES, C. das.; LIMA, J. D.; SANTOS, A. J. dos. Dominância da Sigatoka-negra em banais do Vale do Ribeira. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, DF, v. 30, n. 3, p. 193, 2005. Suplementos.
- PUGSLEY, L., CRUVINEL, P. E., CARAMORI, P. H. New agroclimatic digital images classification system and risk zone mapping. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTER GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING, 14., 2001, Florianópolis. *Proceedings...* Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2001. p. 237-244.
- WMO. *Agrometeorological aspects of operational crop protection*. Genebra: WMO, 1988. 185 p. Technical note, 192.