

Proposta de Sistema de monitoramento da sigatoka-negra baseado em variáveis ambientais utilizando o TerraMA²

**Hugo N. Bendini¹, Wilson S. Moraes², Simone S. da Costa³, Eymar S. S. Lopes⁴,
Thales S. Körting⁴, Leila M. G. Fonseca⁴**

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Caixa Postal 515 – 12.245-970 – São José dos Campos – SP – Brazil

²Polo Regional do Vale do Ribeira – Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio (APTA)
São Paulo, Brazil

³Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais – Centro de Previsão de Tempo e Estudos
Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE)
São Paulo, Brazil

⁴Divisão de Processamento de Imagens – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Caixa Postal 515 – 12.245-970 – São José dos Campos – SP – Brazil

hbendini@dsr.inpe.br, wilson_moraes@uol.com.br, simone@cptec.inpe.br,
eymar@dpi.inpe.br, tkorting@dpi.inpe.br, leila@dpi.inpe.br

Abstract

Banana crops have been affected by a disease known as black sigatoka. There are still few studies that consider the spatial distribution and dynamics involved in the dispersion process, as well as monitoring systems that incorporate such information. In this context, the geospatial tools are promising, especially when integrated to geographic information systems with the capacity to incorporate dynamic data, from different sources, allowing real-time monitoring systems. Thus, this ongoing paper proposes the implementation of a system of monitoring and alerting for black sigatoka with the characteristics mentioned, using TerraMA² platform.

Resumo

A cultura da bananeira vem sendo assolada por uma doença conhecida por sigatoka-negra. Ainda são poucos os estudos que considerem a sua distribuição espacial e dinâmica envolvida no processo de dispersão, tampouco sistemas de monitoramento que integrem essas informações. Neste contexto, as geotecnologias apresentam ferramentas promissoras, sobretudo quando integradas a sistemas de informações geográficas capazes de incorporar dados dinâmicos, de diversas fontes, permitindo o monitoramento em tempo real. Assim este trabalho, em andamento, propõe a implementação de um sistema de monitoramento e alerta para a sigatoka-negra com as características mencionadas, utilizando a plataforma TerraMA².

1. Introdução

A cultura da bananeira vem sendo assolada pela ocorrência da sigatoka-negra. A principal prática utilizada pelos produtores é o controle químico, integrado a técnicas de monitoramento e manejo (GASPAROTTO et al., 2006; MORAES et al., 2006). Ainda são incipientes estudos que considerem a distribuição espacial da doença, bem como a dinâmica envolvida nesse processo de dispersão, e o mapeamento de áreas mais ou menos favoráveis a sua ocorrência. O desenvolvimento de mapas de risco acoplados a modelos de predição pode ser útil para indicar áreas ou épocas mais favoráveis à epidemias. Com uma base de dados ampla, sistemas computacionais podem ser utilizados para verificar se as condições meteorológicas estão favoráveis à infecção pelos patógenos. O geoprocessamento apresenta-se como uma ferramenta viável e promissora para modelar a predisposição à ocorrência da sigatoka-negra no Brasil com base nas condições meteorológicas favoráveis ao seu desenvolvimento (BENDINI *et al.*, 2013).

Aplicações modernas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) seguem a tendência impostas pelos avanços nos sistemas de informática, como acesso web, segurança, capacidade computacional, armazenamento, entre outros, demandando cada vez mais carga computacional, gerando grandes bancos de informação. Neste contexto, as aplicações baseadas no modelo cliente-servidor apresentam diversos inconvenientes, tais como, sobrecarga no servidor, falta de robustez no processamento, custos de aquisição e manutenção, além de não contemplar plenamente os requisitos demandados pelos sistemas de emergência e alerta (MOMO et al., 2011). Diante das necessidades de incorporar dinâmica ao sistema, com vistas a permitir um monitoramento em tempo real, isentar o usuário de etapas de pré-processamento e armazenamento dos dados de entrada do modelo, indica-se como solução a utilização de uma arquitetura orientada a serviços, com interoperabilidade via webservices. A plataforma TerraMA² (INPE, 2012) é um software livre, baseado em uma arquitetura de serviços que possibilita o desenvolvimento de sistemas operacionais para monitoramento de alertas a riscos ambientais. É um sistema baseado na Arquitetura Orientada a Serviços que possibilita a integração de dados de diversas fontes, permitindo o estabelecimento de cenários de alerta através de análises previamente estabelecidas em linguagem de programação LUA, emitindo ainda notificações de alerta aos usuários. A partir destas considerações, a presente proposta trata da implementação de um sistema de monitoramento e alerta para a sigatoka-negra utilizando a TerraMA².

2. Favorabilidade à sigatoka-negra

O desenvolvimento da sigatoka-negra é favorecido por temperaturas médias mensais entre 20 °C e 30 °C, umidade relativa acima de 70 % e precipitação acumulada superior a 100 mm (JACOME & SCHUH, 1992; MOULIOM-PEFOURA et al., 1996; ROMERO & SUTTON, 1997; FUKUDA & MORAES, 2007). A Tabela 1 apresenta os limiares de favorabilidade à doença, para cada variável. Deste modo, é possível inferir sobre a favorabilidade à doença, considerando a álgebra booleana, por meio da Equação 1.

$$\left\{ \begin{array}{l} SE (T_{med} = \text{favorável}) \text{ AND } (P_p = \text{favorável}) \text{ AND } (UR = \text{favorável}) \rightarrow \text{Favorável} \\ \text{CASO CONTRÁRIO} \rightarrow \text{Desfavorável} \end{array} \right. \quad [\text{Eq. 1}]$$

Tabela 1. Intervalos dos limiares de favorabilidade à doença.

	Favorável	Desfavorável
Precipitação acumulada (<i>Pp</i>)	≥100 mm	<100 mm
Temperatura média (<i>Tmed</i>)	≥20 °C e ≤30 °C	<20 °C e >30 °C
Umidade relativa do ar (<i>UR</i>)	≥70%	<70%

Moraes et al. (2006) analisaram o progresso da sigatoka-negra durante o período de fevereiro a dezembro de 2005, na região do Vale do Ribeira, onde simularam o comportamento da doença com uma função de regressão, em que as médias de temperatura máxima e mínima e a precipitação acumulada durante uma e duas semanas antes da leitura foram os parâmetros de entrada, tendo sido os que mais se correlacionaram ($r=0,82$) com a severidade da doença com duas semanas de antecedência, obtendo a Equação 2.

$$EE = -1265 + 0,5886pp + 73,7879t_{max} + 52,8995t_{min} \quad [\text{Eq. 2}]$$

3. Resultados preliminares

Foram realizados estudos preliminares em que a metodologia consistiu de uma etapa de aquisição de dados nas bases de dados meteorológicos, contemplando dados de modelos e de estimativas por satélite, onde também foi necessária uma etapa de processamento destes dados para serem importados para plataforma de um SIG, onde então foram implementados os métodos de geoprocessamento para análise e visualização dos mapas. Foram duas abordagens de análise. A primeira baseou-se em inferência booleana, considerando a Equação 1, com os limiares da Tabela 1, para todo o território nacional, com intervalos mensais. A segunda abordagem considerou apenas o estado de São Paulo, utilizando o modelo da Equação 2, com intervalo quinzenal. As variáveis meteorológicas consideradas no estudo foram precipitação acumulada (*Pp*) quinzenal e mensal, temperatura máxima média (*Tmax*) quinzenal e mensal, temperatura mínima média (*Tmin*) quinzenal e mensal, temperatura média (*Tmed*) mensal e umidade relativa média mensal (*Ur*). Para as variáveis temperatura média mensal, e umidade relativa mensal, foram utilizados os dados do modelo ETA (disponível em <http://dadosclima.ccst.inpe.br/>), na resolução de 40 km. Os dados de temperatura média são fornecidos em Kelvin em arquivos com extensão NetCDF (*Network Common Data Form*). Para obtenção dos dados de precipitação acumulada mensal e quinzenal, foram utilizados os dados do produto 3B42, do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), disponibilizados com frequência diária na base de dados “Giovanni” (GES DISC *Interactive Online Visualization and analysis Infrastructure*), da NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) (disponível em <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/>). Este produto utiliza estimativas de precipitação por micro-ondas do imageador de microondas (TMI) corrigidas por informações da estrutura vertical das nuvens obtidas do radar de precipitação (PR). Os dados foram fornecidos em mm.h^{-1} em arquivos raster com extensão HDF (*Hierarchical Data Format*) e resolução espacial de $0,25^\circ$ (cerca de 30 km). Para os dados diários de *Tmax* e *Tmin* foi utilizada a base de dados NCEP *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) (disponível em <http://www.esrl.noaa.gov/>), na mesma resolução de $0,25^\circ$ aproximadamente. Obtidos os dados, foram formatados os arquivos ASCII para importação para o Sistema de Processamento de Informações Geográficas (SPRING)

(versão 5.2.1) (CÂMARA et al., 1996), que foi utilizado como plataforma para desenvolvimento do trabalho. Após a importação do dado tipo amostra, foi realizada uma interpolação por média ponderada para geração das grades regulares, com 40 km de resolução. Com as grades regulares, efetuou-se a operação de fatiamento, considerando os limiares estabelecidos na literatura (Tabela 1). Assim, por meio da Equação 1 foram gerados os mapas de favorabilidade. A Figura 1 ilustra os mapas de favorabilidade obtidos para os meses de janeiro a dezembro de 2010.

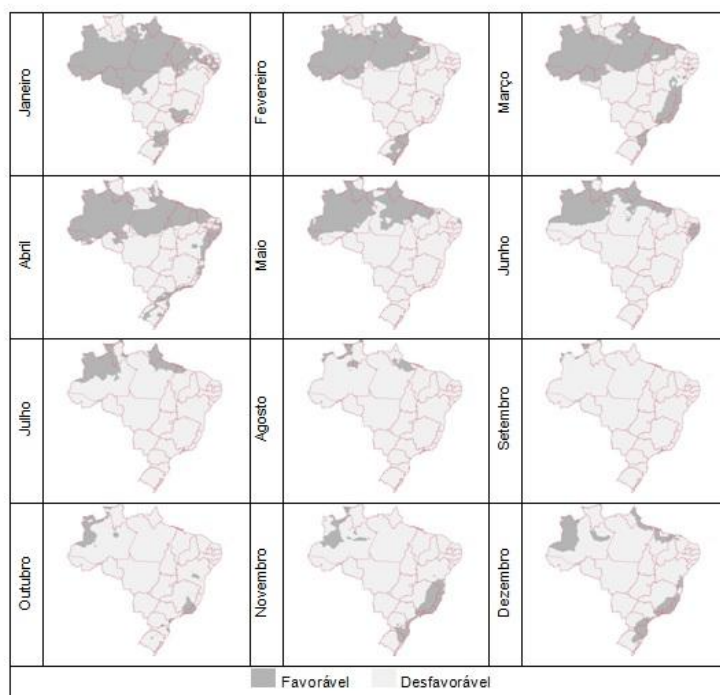


Figura 1. Mapa de favorabilidade climática à sigatoka-negra da bananeira no Brasil, para os meses de janeiro a dezembro, no período de 2010.

Finalmente, para elaboração dos mapas de severidade por meio da Equação 2, foram utilizados os dados diários de Tmax, Tmin, e Pp, sendo que estes foram calculados para períodos quinzenais, para entrada no modelo, devido ao fato deste ter sido ajustado com maior correlação para este intervalo. Para validação destes mapas, de forma a considerar a variabilidade temporal, foram utilizados dados de estado da evolução (EE), obtidos por meio do monitoramento pela metodologia de Fouré (1988), em duas propriedades produtoras de banana nas regiões de Pariquera-açu e Paranapanema, no estado de São Paulo. Foi realizado um estudo de correlação entre os valores obtidos pelo modelo, e os valores obtidos por medidas de campo, onde os coeficientes de correlação foram 0.445 e 0.668, para Paranapanema e Pariquera-açu respectivamente. Como considerações destes resultados preliminares, evidencia-se que tal abordagem pode ser útil para desenvolvimento de plataformas para realização de trabalhos sobre a distribuição espaço-temporal de doenças agropecuárias. Além de contribuir para com a interoperabilidade com dados meteorológicos de estimativas por satélite e modelos numéricos. Evidentemente são necessários estudos com séries temporais maiores e mais informações de campo para validação, a fim de se obter resultados mais consistentes. Para isso, é imprescindível a utilização de sistemas que permitam uma maior dinâmica na entrada de dados.

4. Proposta de Sistema de monitoramento da sigatoka-negra baseado em variáveis ambientais utilizando a TerraMA²

Tendo como aporte ilustrativo a Figura 3, a proposta em andamento é definida por estabelecer inicialmente um banco de estudos, onde será realizada a validação da metodologia, e uma pré-análise dos dados meteorológicos obtidos por modelos de previsão, para serem associadas incertezas às medidas para a região analisada. E um banco de operação, para geração e visualização dos alertas de modo operacional.

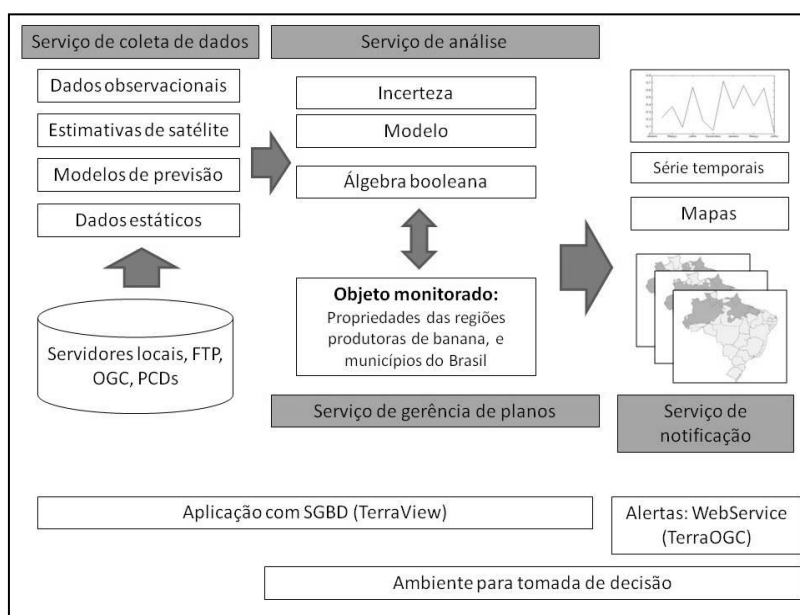


Figura 3. Arquitetura da proposta do sistema de monitoramento da sigatoka-negra baseado em variáveis ambientais utilizando a TerraMA².

Os dados necessários para a operação da plataforma incluem dados ambientais, sendo estes os dados dinâmicos coletados automaticamente em servidores FTP, ou disponibilizados para clientes HTTP, seguindo a especificação da OGC (*Open Geospatial Consortium*), ou ainda por Plataformas de Coleta Digitais (PCDs), e que informam sobre a condição das variáveis obtidas a intervalos de tempo pré-determinados, e os objetos monitorados, que incluem dados com informações sobre as pré-condições necessárias para a ocorrência da doença. A princípio, serão propostas as duas abordagens de análise citadas anteriormente. As análises serão baseadas em objeto monitorado, onde os objetos serão os municípios brasileiros na primeira abordagem, e as propriedades de bananicultura de regiões produtoras, considerando a segunda. Para a primeira abordagem serão considerados os limites estabelecidos na Tabela 1. Já no segundo caso, será utilizado o modelo da Equação 2. As análises serão desenvolvidas com a linguagem de programação LUA (IERUSALIMSCHY et al., 1993). Finalmente, os usuários serão produtores rurais, e tomadores de decisão em geral, que poderão visualizar os alertas por uma aplicação web, conectada ao banco de dados, capaz de apresentar as camadas associadas à análise, seus dados, histórico de alertas e metadados, havendo ainda um serviço de notificação, onde os usuários cadastrados receberão relatórios de alteração, enviados por correio eletrônico.

5. Referências

- Bendini, H. N., Moraes, W. S., Silva, S. H. M. G., Tezuka, E. S., Cruvinel, P. E. (2013). “Análise de risco da ocorrência de sigatoka-negra baseada em modelos polinomiais: um estudo de caso”. *Tropical Plant Pathology* 38(1): p. 35 – 43.
- Câmara G., Souza R. C. M., Freitas U. M., Garrido J. C. P. (1996) “SPRING: Integrating remote sensing and GIS with object-oriented data modeling”. *Computers and Graphics* 6: p. 13-22.
- Fouré E. (1988) “Stratégies de lutte contre la cercosporiose noire des bananiers et des plantains provoquée par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet”. L'avertissement biologique au Cameroun. Evaluation des possibilités d'amélioration. *Fruits* 43:269-274.
- Fukuda E., Moraes W. S. (2007) “Monitoramento da severidade da Sigatoka Negra em bananais do Vale do Ribeira, São Paulo, Brasil”. In: Congresso de Iniciação Científica da UNESP, Resumos... Ilha Solteira SP. UNESP. p. 22 – 23.
- Gasparotto, L., Pereira, J. C. R., Hanada, R. E., Montarroyos, A. V. V. (2006) “Sigatoka-negra da bananeira”. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 177p.
- Ierusalimschy, R., Celes, W., Figueiredo, L. H. and Souza, R. (1993) “Lua: uma linguagem para customização de aplicações”, In: VII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, page 55. Caderno de Ferramentas.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Terra Monitoramento Análise e Alerta – TerraMA². 2012. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terrama2/>>. Acesso em: out. 2014.
- Jacome, L. H., Schuh, W. (1992) "Effects of leaf wetness duration and temperature of development of black Sigatoka disease on banana infected by *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*", p. 515 – 520. *Phytopathology*. v. 82.
- Momo, M. R., Refosco, J. C. (2011) “Arquitetura computacional baseada em computação GRID, aplicada a sistemas de informação geográfica na gestão de risco e alerta da bacia do rio Itajaí”, In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais... Curitiba PR. INPE. p. 8865.
- Moraes W. S., Fukuda E., Mendonça J. C., Silva C. M., Silva S. H. M. (2006) “Behaviour of black Sigatoka in banana plantations of the Ribeira Valley, São Paulo, Brazil”, In: XVII Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisas sobre Banana no Caribe e América Tropical (ACORBAT), Resumos... Joinville SC. IFAC. p. 656 – 661.
- Mouliom-Pefoura, A., Lassoudière, A., Foko, J., Fontem, D. A. (1996) “Comparison of development of *Mycosphaerella fijiensis* and *Mycosphaerella musicola* on banana and plantain in various ecological zones in Cameroon”. *Plant Disease* 80: p. 950 – 954.
- Romero, R. A., Sutton, T. B. (1997) “Reaction of four Musa genotypes at three temperatures to isolates of *Mycosphaerella fijiensis* from different geographical regions”. *Plant Disease* 81: p. 1139 – 1142.