

# ZONEAMENTO DA FAVORABILIDADE CLIMÁTICA PARA A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM ALARANJADA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO

SANTOS, D. L.<sup>1</sup>; SENTELHAS, P. C.<sup>2</sup>; PALLONE FILHO, W. J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Mestranda, PPG em Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Fone: (19) 3429 4283, [dlsantos@esalq.usp.br](mailto:dlsantos@esalq.usp.br), <sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Associado, Depto de Engenharia de Biosistemas - ESALQ/USP, Piracicaba, SP, <sup>3</sup> Eng. Agrícola, Mestre, Pesquisador do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Piracicaba – SP.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

**RESUMO** - A recém introduzida ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehni*), vem desafiando a comunidade canavieira, por reduzir o rendimento do canavial, onde se cultivam variedades suscetíveis. Logo, os objetivos deste estudo foram estabelecer o zoneamento das regiões de favorabilidade climática e os níveis de risco climático para a ocorrência da doença no Estado de São Paulo. A partir de levantamentos das epidemias ocorridas na Província de Queensland, Austrália, em 1999/2000, e no Estado de São Paulo, em 2009/2010, e das suas respectivas condições climáticas, caracterizou-se como variáveis climáticas condicionantes ao desenvolvimento da doença o número de decêndios com excedente hídrico (NDEXC) e o número de decêndios com temperatura média ideal (NDTideal). Com o emprego dessas variáveis desenvolveram-se modelos lineares para determinação da severidade da doença e elaboração do Índice de Favorabilidade Climática à Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar (IFAC), utilizado na confecção dos mapas de risco mediante sua correlação com as coordenadas geográficas e a altitude. Observou-se que as regiões canavieiras no oeste paulista apresentam risco muito baixo a moderado, enquanto que nas regiões no centro-leste do Estado, o risco é moderado-alto a alto.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Saccharum officinarum*; *Puccinia kuehni*; Ambiente

## CLIMATE FAVORABILITY ZONING FOR THE OCCURRENCE OF SUGARCANE ORANGE RUST IN SAO PAULO

**ABSTRACT** – The newly introduced sugarcane orange rust, caused by *Puccinia kuehni*, has been challenging the sugarcane growers, by reducing the crop yield of susceptible varieties. Therefore, the objectives of this study were to establish the climatic favorability zoning and the risk levels for disease occurrence in the state of São Paulo. From surveys of disease outbreaks in the Province of Queensland, Australia, in 1999/2000, and in the state of São Paulo, Brazil, in 2009/2010, and their respective weather conditions, the following climatic variable were characterized as conditioners for disease development: number of ten-day periods with water surplus (NDEXC); number of ten-day periods with an optimum average temperature (NDTideal). With these variables, linear models were developed to determine the severity of the disease and the *Climatic Favorability Index for Sugarcane Orange Rust Occurrence* (IFAC). IFAC was mapped through its correlation with geographical coordinates and altitude, determining the disease risk zones in the state of São Paulo. The sugarcane areas in the west region of the state has very low to moderate risk, while regions in the east-central part of the state present moderate-high to high risk.

**KEYWORDS:** *Saccharum officinarum*; *Puccinia kuehni*; Environment

**INTRODUÇÃO:** O Brasil, maior produtor de cana-de-açúcar, apresenta cultivo influenciado principalmente pelas condições edafoclimáticas e fitossanitárias. O país que já superou doenças como carvão, ferrugem marrom, amarelinho e raquitismo, atualmente, tem um novo desafio, a ferrugem alaranjada, causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*. Embora muito antiga, a ferrugem alaranjada vinha sendo observada durante anos apenas no sudeste da Ásia e Oceania sem gerar grandes danos à cultura, até causar o surto epidêmico na Austrália, nos anos de 1999/2000, ao infectar a variedade suscetível Q124, a mais plantada da Província de Queensland, principal região produtora australiana, gerando danos de até 40% (MAGAREY et al., 2001). Devido à sua alta disseminação por correntes aéreas, o patógeno chegou ao continente americano, inicialmente na Flórida, em 2007, e em seguida na América Central em 2008 (FLORES et al. 2009). No Brasil, a primeira notificação da doença ocorreu em dezembro de 2009, no município de Rincão, interior de São Paulo, alastrando-se, primeiramente, para a região central do Estado, e em seguida para plantações dos Estados do Paraná, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo e Minas Gerais (CTC, 2011). Nos locais de ocorrência do fungo, o controle tem sido feito basicamente com o plantio de variedades resistente, e nas variedades suscetíveis, por meio da aplicação de fungicidas durante as janelas de favorabilidade à doença e no início do ciclo das infecções (EMBRAPA, 2008). Porém, vários aspectos importantes ainda precisam ser conhecidos para um manejo adequado e racional da ferrugem alaranjada, sendo as condições, épocas e locais mais favoráveis para a ocorrência da doença informações extremamente necessárias. Os objetivos deste estudo foram estabelecer o zoneamento das regiões de favorabilidade climática e os níveis de risco climático para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana de açúcar no Estado de São Paulo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O desenvolvimento da ferrugem alaranjada da cana de açúcar foi caracterizado por meio das variáveis climáticas (temperatura média do ar, chuva e excedente hídrico) observadas durante as epidemias da doença ocorridas na Província de Queensland, Austrália, em 1999/2000, e no Estado de São Paulo, em 2009/2010. A análise da disponibilidade hídrica decendial, sazonal e anual foi realizada por meio do balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), utilizando-se os programas elaborados em planilha eletrônica por Rolim et al. (1998). Com os dados médios foram determinados os balanços hídricos normais pelo programa *BHNorm* e com a série de dados de chuva e temperatura dos locais foram determinados os balanços hídricos seqüenciais, para os anos de 1999 e 2000 para várias localidades da Província de Queensland e de 2009 e 2010 para os diversos pontos do Estado de São Paulo, com o programa *BHSeq*. Comparou-se os excedentes hídricos da série histórica e a temperatura média normal, ambos para os períodos de janeiro a junho para a Província de Queensland e, de setembro a fevereiro para o Estado de São Paulo, períodos considerados mais críticos para o desenvolvimento da *P. kuehnii* para os respectivos locais, com o ocorrido nos anos de epidemia da doença, estabelecendo-se os parâmetros climáticos, definidos como: o número de decêndios com excedente hídrico (NDEXC) e o número de decêndios com temperatura média ideal (NDTideal). A avaliação da severidade da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo foi feita pela atribuição de notas obtidas por levantamentos técnicos de campo em 40 locais do Estado, entre os meses de janeiro e fevereiro para variedades suscetíveis à *P. kuehnii*, baseada na escala de avaliação de ferrugem (AMORIN, 1987), a qual atribui notas de 1, sem manifestação da doença, a 9, mais de 50% da área foliar da planta afetada pelo fungo. Essas notas foram correlacionadas às variáveis climáticas NDEXC e NDTideal, gerando um modelo de regressão linear múltipla. Para a elaboração do Índice de Favorabilidade Climática à Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar (IFAC), primeiramente utilizou-se a equação de severidade para estimar as notas para ferrugem alaranjada para séries de 15 a 30 anos de dados meteorológicos para 60 locais distribuídos no Estado. Em seguida ponderou-se as

severidades estimadas a partir do cálculo das freqüências de anos com severidades entre as faixas 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 e 9, classificadas respectivamente como muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta, e multiplicando-se essas freqüências pelos fatores de ponderação 0, 1, 3, 6 e 10, respectivamente. O resultado dessa ponderação foi dividido pelo número total de anos analisados para cada local, obtendo-se assim o IFAC normalizado, variando de 1 a 10 (Equação 1).

$$IFAC = [(A_{1-2} * N_{1-2} * 0) + (A_{3-4} * N_{3-4} * 1) + (A_{6-5} * N_{6-5} * 3) + (A_{7-8} * N_{7-8} * 6) + (A_9 * N_9 * 10)] / \sum A \quad (1)$$

em que: A é o número total de anos da série; A<sub>n</sub> o número de anos em que a nota “n” ocorreu; N<sub>n</sub> a nota de severidade estimada; e os valores 0, 1, 3, 6 e 10 os fatores de ponderação para cada faixa de notas de severidade “n”. Posteriormente, o IFAC foi correlacionado com as coordenadas geográficas, latitude e longitude, e a altitude, elaborando-se um modelo de regressão linear múltipla que permitiu se estimar o IFAC para todo o Estado, convertendo-o em mapas de favorabilidade climática por meio do recurso de álgebra de mapas de um sistema de informações geográficas (ArcGis 9.2), processando-se as variáveis independentes (latitude, longitude e altitude) como “Layers” no formato “raster”. O “Layer” de altitude, em metros, foi obtido do modelo de elevação digital (MED), fornecido pela “NASA Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)”, que tem resolução de 90 m. Os “Layers” de latitude e longitude, em décimos de graus, foram computados utilizando-se as coordenadas centrais de cada pixel correspondente ao MED. Com o emprego do IFAC foi realizado o estudo do risco climático para as seis regiões produtoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, delimitando-se os níveis de risco a partir de faixas de índices entre 0-2, 2,1-4, 4,1-6, 6,1-8 e 8,1-10, classificados, respectivamente, como baixo, moderado-baixo, moderado-alto, alto e muito alto.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A correlação entre a severidade observada nos 40 locais levantados pelo CTC em 2009/2010 e as variáveis NDEXC e o NDTideal, possibilitou se chegar ao seguinte modelo de estimativa da severidade:

$$Sev = -0,56119 + 0,245462 * NDEXC + 0,354693 * NDTideal \quad R^2 = 0,672 \quad (2)$$

em que: Sev representa a severidade da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar; NDEXC o número de decêndios com excedente hídrico no período de setembro a fevereiro e NDTideal o número de decêndios com temperatura ideal no período de setembro a fevereiro. A partir da equação acima, foram estimadas as notas de severidade para ferrugem alaranjada para as regiões canavieiras paulistas, para séries de 30 anos (1980 a 2009), e calculadas as freqüências de anos com notas estimadas entre as faixas 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 e 9, classificadas respectivamente como muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 1. Freqüência de anos com severidade para ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar estimada, para a série de 1980/2009, para as regiões canavieiras no Estado de São Paulo.

Notas	Freqüência (%)					
	Araçatuba	Assis	Jaú	Piracicaba	Ribeirão Preto	S.J.Rio Preto
1-2	20	0	0	0	0	37
3-4	67	0	0	3	0	53
5-6	13	37	33	37	33	10
7-8	0	60	63	63	57	0
9	0	3	3	0	10	0

Observou-se que para as regiões de Araçatuba e São José do Rio Preto, onde o clima é mais seco e quente, a severidade para ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar foi menor, apresentando-se como muito baixa, baixa e moderada. Já nas demais regiões, com climas mais úmidos e temperaturas mais amenas, a severidade foi maior, apresentando-se como moderada, alta e muito alta. Os valores de severidade estimados para as 60 localidades estudadas foram correlacionados com as coordenadas geográficas, latitude e longitude, e a altitude, por meio da regressão linear múltipla, obtendo-se a equação para a estimativa do Índice de Favorabilidade Climática a Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar (IFAC):

$$IFAC = 31,04319 - 0,42652 * Lat + 0,775864 * Long + 0,002771 * Alt \quad R^2 = 0,71 \quad (3)$$

em que: Lat e Long representam, respectivamente, a latitude e a longitude do local, em graus, e Alt a altitude, em metros. A partir da Equação 3 foi confeccionado o mapa de risco climático para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo (Figura 2), no qual observa-se uma tendência longitudinal, ou seja, o risco aumentando da porção oeste do Estado, menos favorável devido ao clima mais seco e quente, em sentido a porção leste, mais favorável devido ao clima mais úmido e temperaturas mais amenas. Correlacionando o risco para cada região com as respectivas médias das notas de severidade levantadas entre os meses de janeiro e fevereiro de 2010, verifica-se que a nota média da região de baixo risco foi 1, enquanto que na região de risco moderado–baixo foi de 5,5 e na região de risco moderado–alto foi 7,8, as quais estão de acordo com o risco apresentado no mapa da Figura 2. Esses resultados também condizem com os encontrados por Martins (2010), que mapeando as zonas de riscos de epidemia de ferrugem alaranjada para o Estado de São Paulo a partir da porcentagem de dias favoráveis ao desenvolvimento da doença, observou favorabilidade alta para a doença para as regiões sul e centro-sul, média a alta para a centro-norte e baixa para o noroeste paulista.

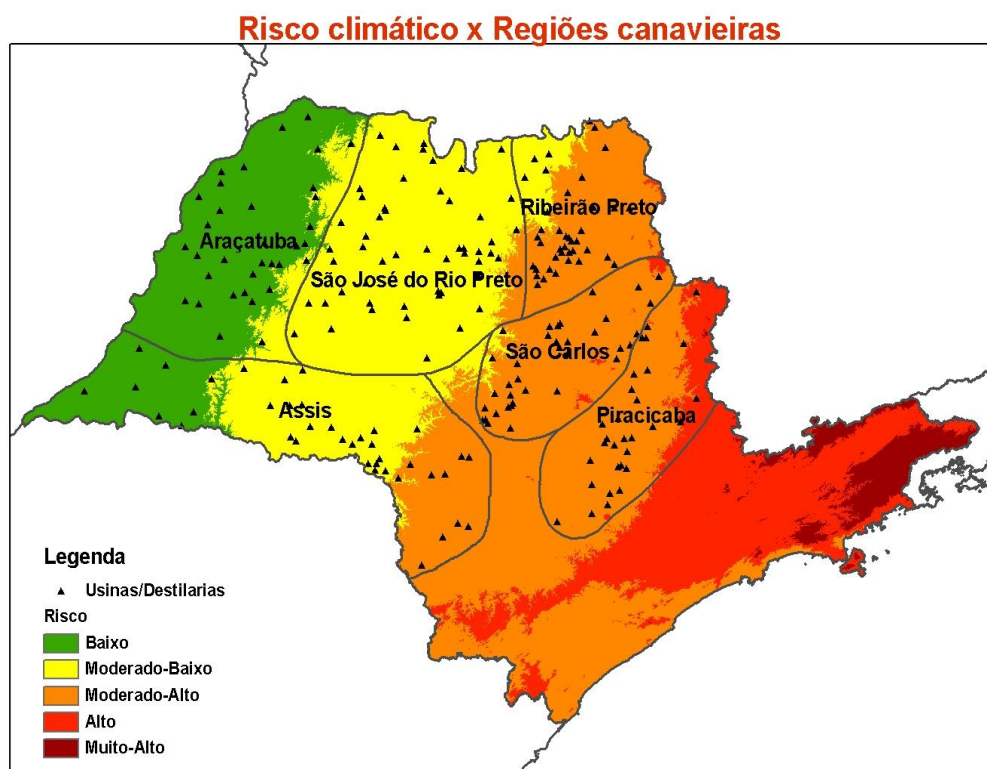


Figura 2 – Mapa de risco climático para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nas regiões produtoras do Estado de São Paulo.

**CONCLUSÕES:** O mapa de risco gerado pelo método proposto permitiu identificar que nas regiões canavieiras a oeste do Estado de São Paulo a severidade a ferrugem alaranjada e o risco climático para a sua ocorrência são baixos, enquanto que nas regiões central e leste do Estado o risco varia de moderado a alto, seguindo uma tendência longitudinal, o que coincidiu com as observações da severidade da doença no ano 2009/2010. A partir do zoneamento das regiões de favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, em função das variáveis climáticas (excedente hídrico e temperatura média ideal), pode-se estabelecer um plano de alocação de variedades, de modo a minimizar os riscos de perda de produtividade dos canaviais em decorrência da doença.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao CTC pelas facilidades oferecidas para a execução deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, L. et. al. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia Melanocephala*). In.: Boletim Técnico Copersucar, n. 39, p. 13-16, nov. 1987.

CTC. CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. <Disponível em: [http://www.ctcanavieira.com.br/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=507:ferrugem-alaranjada-da-cana-de-acucar-mapa-de-ocorrencias](http://www.ctcanavieira.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=507:ferrugem-alaranjada-da-cana-de-acucar-mapa-de-ocorrencias)>. Acesso em 22 fev 2011.

EMBRAPA. *Puccinia kuehnii*, um risco para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil. **Comunicado Técnico 184**, Brasília, 2008. <Disponível em: <http://www.cenargen.embrapa.br>>. Acesso em 22 fev 2011.

FLORES, R.C.; LOYO, J. R.; OJEDA, R.A.; RANGEL, O.C.A.; CERÓN, F.A.; MÁRQUEZ, W.; GUERRA-MORENO, A.S.; HERNANDEZ-IBARRA, H.M.; GONZÁLEZ, R.E.; CASTLEBURY, L.A.; DIXON, L.J.; GLYNN, N.C.; COMSTOCK, J.C.; FLYNN, J.; AMADOR, J. First Report of Orange Rust of Sugarcane Caused by *Puccinia kuehnii* in Mexico, El Salvador, and Panama. **Plant Disease**, v. 93, n.12, p. 1347, 2009.

MAGAREY, R.C.; CROFT, B; WILLCOX, T; CORDINGLEY, A. Orange rust, a major pathogen affecting crops of Q124 in Queensland in 2000. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technology**, Queensland, v. 23, p.274-280, 2001.

MARTINS, T.D. **Aspectos epidemiológicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. 2010. 67 p. Tese (Doutorado em Ciências. Área de concentração: Fitopatologia)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista de Agrometeorologia*, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. *Publications in Climatology*, New Jersey, Drexel Institute of Technology, 104p., 1955.