

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada  
(*Puccinia kuehni*)**

**Roberto Giacomini Chapola**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor  
em Ciências. Área de concentração: Fitopatologia

**Piracicaba  
2013**

Roberto Giacomini Chapola  
Engenheiro Agrônomo

**Reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*)**

Orientador:  
Prof. Dr. **NELSON SIDNEI MASSOLA JÚNIOR**

Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutor em Ciências. Área de concentração:  
Fitopatologia

**Piracicaba**  
**2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Chapola, Roberto Giacomini

Reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*) / Roberto Giacomini Chapola. - Piracicaba, 2013.  
77 p: il.

Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. *Saccharum* spp. 2. Resistência 3. Suscetibilidade 4. Controle genético  
I. Título

CDD 633.61  
C466r

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"**

## **DEDICATÓRIA**

*À minha esposa*

*Nathália Cristina Marciano,*

*por seu apoio, paciência e amor incondicionais.*



## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar saúde, paciência e sabedoria em mais um importante passo da minha vida;

Aos meus familiares, pelo apoio incondicional;

Ao Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da ESALQ;

Ao Prof. Dr. Nelson Sidnei Massola Júnior, pela oportunidade e orientação;

Ao Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da Universidade Federal de São Carlos (PMGCA/UFSCar), pelo apoio financeiro e operacional;

Ao Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann, por sua confiança e seus conselhos;

Aos Professores e funcionários do Departamento de Fitopatologia e Nematologia;

Aos colegas do Laboratório de Fungos Fitopatogênicos, pela amizade e companheirismo, em especial: Ananias Alves Cruz, Juliana Ramiro e Wagner Vicente Pereira;

À Andrea Gonzalez Colorado e à Natalia Vanessa Mendez Urbano, pelo auxílio na condução do ensaio em casa de vegetação;

Aos Professores do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar (CCA/UFSCar), por todo conhecimento e conselhos transmitidos;

Aos funcionários do CCA/UFSCar, em especial aos do Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal;

À equipe do PMGCA/UFSCar, em especial aos amigos: Antonio Ribeiro Fernandes Júnior, Carlos José Loureiro, Cláudio José Mendes (*in memoriam*), Danilo Eduardo Cursi, Flávio de Souza Costa, José Adalberto da Cruz, José Ciofi, Igor Killer Nunes, Luiz Fernando Dias Pereira, Luiz Plínio Zavaglia, Mylaine Cristina dos Santos, Rafael Ferreira Montes, Sandro Augusto Ferrarez e Valdir Ribeiro Guedes;

Aos amigos Engenheiros Agrônomos Diego Mota Colatto e Bruno Silvestrin;

À Profa. Dra. Monalisa Sampaio Carneiro, à Dra. Thaís Dias Martins e ao Dr. Alécio Souza Moreira, por aceitarem participar da banca julgadora;

À Profa. Dra. Lucimeris Ruaro, à Profa. Dra. Ana Paula de Oliveira Amaral Mello, ao Prof. Dr. João Carlos Bespalhok Filho, ao Prof. Dr. José Belasque Júnior e ao Dr. Álvaro Sanguino, por aceitarem fazer parte da comissão julgadora;

Ao Prof. Dr. Fernando Angelo Piotto, por contribuir na interpretação das análises estatísticas;

Ao pesquisador Erick Chavarría Soto, por seu apoio, estímulo à pesquisa e receptividade;

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Gagliardi, por acreditar no meu potencial;

E a todos que participaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

**Muito obrigado!**

*"Confia ao Senhor as tuas  
obras, e teus pensamentos  
serão estabelecidos"*

Provérbios 16:3



## SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT .....	13
LISTA DE FIGURAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	17
1 INTRODUÇÃO .....	19
2 DESENVOLVIMENTO .....	21
2.1 Revisão bibliográfica .....	21
2.1.1 Importância econômica da cultura da cana-de-açúcar .....	21
2.1.2 Cultivo da cana-de-açúcar.....	22
2.1.3 Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar .....	24
2.1.4 Controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar .....	27
2.1.5 Avaliação de doenças de plantas.....	33
2.2 Material e Métodos .....	35
2.2.1 Experimentos de campo.....	35
2.2.1.1 Variedades utilizadas .....	35
2.2.1.2 Plantio dos experimentos .....	35
2.2.1.3 Avaliações .....	36
2.2.1.4 Análise dos dados .....	38
2.2.2 Experimento em casa de vegetação .....	39
2.2.2.1 Variedades utilizadas e plantio .....	39
2.2.2.2 Preparo do inóculo e inoculação .....	39
2.2.2.3 Pós-inoculação .....	40
2.2.2.4 Avaliações e análise dos dados .....	41
2.3 Resultados e discussão.....	41
2.3.1 Experimentos de campo.....	41
2.3.1.1 Reação das variedades à doença .....	41
2.3.1.2 Determinação da melhor época para avaliação da doença.....	58
2.3.2 Experimento em casa de vegetação .....	62
3 CONCLUSÕES .....	69
REFERÊNCIAS.....	71



## RESUMO

### **Reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*)**

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, é atualmente a doença que mais preocupa o setor sucroenergético brasileiro, devido a sua introdução recente no país e aos prejuízos causados em indústrias canavieiras ao redor do mundo. A doença é controlada com variedades resistentes e por isso há a necessidade de maiores informações sobre a reação das cultivares mais importantes no Brasil. Os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar a reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada, em condições de infecção natural no campo; (ii) determinar a melhor época para avaliação da doença; (iii) estabelecer um método, em casa de vegetação e com inoculação artificial do patógeno, para seleção rápida de variedades com resistência no campo. Dezessete variedades foram avaliadas quanto às suas reações a *P. kuehnii* em dois experimentos de campo, plantados em abril e julho de 2011; neste último, após a colheita em maio de 2012, a cana-soca também foi avaliada. Para multiplicar e uniformizar a distribuição do inóculo, a variedade suscetível SP89-1115 foi usada como bordadura e plantada entre os blocos e em duas linhas, dividindo cada experimento ao meio. Avaliou-se a severidade da doença a cada 15 dias e, a partir destes dados, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e obteve-se a severidade máxima da doença. Para identificar o melhor período de avaliação, realizou-se análise de correlação entre a AACPD e cada levantamento de severidade. Em casa de vegetação, seis variedades com reações distintas à doença, com base nos resultados obtidos no campo, foram inoculadas com uma suspensão de  $10^4$  urediniosporos viáveis mL<sup>-1</sup> de *P. kuehnii*, com auxílio de pulverizador manual, 60 dias após o plantio. As plantas foram mantidas por 24 horas em câmara de orvalho e, posteriormente, transferidas para casa de vegetação. Foram determinados os períodos de incubação e latência, o número de pústulas por cm<sup>2</sup> e a severidade da doença. Oito das 17 variedades avaliadas no campo mostraram alta resistência à doença. As cultivares RB72454 e SP89-1115 foram as mais suscetíveis, seguidas da SP79-2233; por isso, o cultivo das mesmas não é recomendado. As variedades RB925211, SP81-3250, RB855156 e RB92579 tiveram reação intermediária, sendo que as duas primeiras apresentaram maiores níveis da doença. Avaliações realizadas no mês de março foram as que mais se correlacionaram com a AACPD, portanto este é o melhor período para determinar a reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada. O comportamento das variedades em casa de vegetação foi semelhante ao observado no campo, especialmente em relação às cultivares suscetíveis e resistentes. Assim, o método aplicado em casa de vegetação mostrou potencial para selecionar, em poucos dias, cultivares com resistência à doença no campo, além de economizar espaço, mão de obra e de ser facilmente executado.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp.; Resistência; Suscetibilidade; Controle genético



## ABSTRACT

### Reaction of sugarcane varieties to orange rust (*Puccinia kuehnii*)

Currently, sugarcane orange rust, caused by *Puccinia kuehnii*, is the disease that most concerns the Brazilian sugarcane industry, due to its recent introduction in the country and the damage caused to sugarcane industries all over the world. The disease is controlled with resistant varieties; hence there is a need for more information about the reaction of the major cultivars in Brazil. The objectives of this work were: (i) to evaluate the reaction of sugarcane varieties to orange rust in field, under natural infection conditions; (ii) to determine the best time for disease assessment; (iii) to establish a method in greenhouse, based on artificial inoculation, for rapid selection of field resistant varieties. Seventeen varieties were studied in two field experiments, planted in April and July 2011; in the latter, after the harvest in May 2012, the ratoon was also evaluated. The susceptible variety SP89-1115 was used as border and planted between the blocks in two lines, dividing each experiment in two halves in order to multiply and standardize the inoculum in the area. Disease severity was evaluated every 15 days and the area under disease progress curve (AUDPC) was calculated and the maximum disease severity was obtained. To identify the best time for disease assessment, a correlation analysis between the AUDPC and each disease severity assessment was done. In greenhouse, six varieties with different reactions to the disease based on results obtained in field were inoculated with a suspension of  $10^4$  viable urediniospores mL<sup>-1</sup> of *P. kuehnii* with a manual sprayer 60 days after planting. Plants were maintained in dew chamber for 24 hours and afterwards they were transferred to the greenhouse. The incubation and latent period were determined as well as the number of pustules cm<sup>-2</sup> and disease severity. Eight out of 17 varieties evaluated in field showed high disease resistance. The varieties RB72454 and SP89-1115 were the most susceptible, followed by SP79-2233; therefore, their commercial cultivation is not recommended. The varieties RB925211, SP81-3250, RB855156 and RB92579 had intermediate reaction, with the first two showing higher disease levels. Evaluations performed in March showed the highest correlation with AUDPC, thus this period is the best for determining sugarcane reaction to orange rust. The varieties reaction in greenhouse was similar to that observed in the field, particularly in relation to susceptible and resistant cultivars. So, the method applied in greenhouse showed potential to select, in a few days, field disease-resistant varieties, besides saving space and labor and being easily implemented.

Keywords: *Saccharum* spp.; Resistance; Susceptibility; Genetic control



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização da folha +3 em planta de cana-de-açúcar (seta branca) ... 38
- Figura 2 - Escala diagramática para avaliação da ferrugem marrom da cana-de-açúcar (AMORIM et al., 1987)..... 38
- Figura 3 - Coleta de urediniósporos de *Puccinia kuehnii* em folha de cana-de-açúcar com sintomas de ferrugem alaranjada. .... 40
- Figura 4 - Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em abril de 2011. .... 43
- Figura 5 - Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em julho de 2011. .... 46
- Figura 6 - Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento colhido em maio de 2012 e avaliado em cana-soca..... 49
- Figura 7 - Balanço hídrico e temperatura média de abril de 2011 a abril de 2012 no município de Araras, estado de São Paulo - Fonte: Dados climatológicos - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos. Disponível em <http://www.cca.ufscar.br/servicos/dados-climatologicos/> .56
- Figura 8 - Balanço hídrico e temperatura média de maio de 2012 a abril de 2013 no município de Araras, estado de São Paulo - Fonte: Dados climatológicos - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos. Disponível em <http://www.cca.ufscar.br/servicos/dados-climatologicos/> .57
- Figura 9 - Folhas de cana-de-açúcar com sintomas de ferrugem alaranjada (A a D) e sadias (E e F): A - RB72454; B - SP89-1115; C - SP81-3250; D - RB855156; E - RB966928; F - RB935744..... 65



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variedades de cana-de-açúcar utilizadas nos experimentos de campo para determinação da reação das mesmas à ferrugem alaranjada. ....	35
Tabela 2 - Temperaturas médias e precipitações pluviométricas mensais do município de Araras, estado de São Paulo – Médias históricas.....	36
Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre dois diferentes experimentos e dois diferentes ciclos da cultura, para a área abaixo da curva de progresso da doença e para a severidade máxima da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, avaliadas em 17 variedades. ....	42
Tabela 4 - Área abaixo da curva de progresso da doença e severidade máxima da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em abril de 2011.....	44
Tabela 5 - Área abaixo da curva de progresso da doença e severidade máxima da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em julho de 2011. ....	48
Tabela 6 - Área abaixo da curva de progresso da doença e severidade máxima da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento colhido em 2012 e avaliado em cana-soca. ....	51
Tabela 7 - Coeficientes de correlação entre a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e as avaliações de severidade da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em abril de 2011.....	59
Tabela 8 - Coeficientes de correlação entre a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e as avaliações de severidade da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em julho de 2011.....	60
Tabela 9 - Coeficientes de correlação entre a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e as avaliações de severidade da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento colhido em maio de 2012 e avaliado em cana-soca.....	61
Tabela 10 - Períodos de incubação e latência, número de pústulas por cm <sup>2</sup> e severidade da ferrugem alaranjada em seis variedades de cana-de-açúcar inoculadas artificialmente com <i>Puccinia kuehnii</i> - Experimento em casa de vegetação.....	63
Tabela 11 - Temperaturas máximas, mínimas e médias ocorridas no município de Piracicaba, estado de São Paulo, no período de 16/7/2013 a 2/8/2013.	64

Tabela 12 - Coeficientes de correlação entre quatro variáveis determinadas em seis variedades de cana-de-açúcar com diferentes reações à ferrugem alaranjada e inoculadas artificialmente com *Puccinia kuehnii* - Experimento em casa de vegetação..... 66

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, além de ser líder na produção de açúcar e o segundo maior produtor de etanol do globo. Na safra 2013/14, estima-se que a área cultivada atinja 8,9 milhões de hectares e que sejam processadas 653,8 milhões de toneladas da matéria-prima (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013). O setor sucroenergético é muito importante ao país, gerando inúmeros recursos e empregos. Somado a isto, a cana-de-açúcar é a segunda maior fonte de energia do Brasil, de modo que o país seja reconhecido mundialmente pelo forte componente renovável de sua matriz energética.

A produtividade da cana-de-açúcar é fortemente influenciada por condições climáticas, edáficas e por fatores biológicos; entre estes últimos, destacam-se as doenças, que muitas vezes podem limitar o desenvolvimento da cultura, provocando sérios prejuízos. Recentemente, a doença mais preocupante ao setor sucroenergético é a ferrugem alaranjada, devido aos grandes danos à produtividade causados em países como a Austrália (MAGAREY et al., 2001) e Estados Unidos (COMSTOCK; GLYNN; DAVIDSON, 2010), e também por ser de introdução recente no Brasil (BARBASSO et al., 2010).

A ferrugem alaranjada é controlada, principalmente, com o cultivo de variedades resistentes. A aplicação de fungicidas só é recomendada quando a substituição das variedades suscetíveis por resistentes não for possível em curto prazo. Como a ferrugem alaranjada foi detectada recentemente no Brasil, poucos trabalhos sobre a reação das principais variedades cultivadas no país à doença estão disponíveis. Desta forma, notou-se a necessidade de maiores informações sobre o comportamento das cultivares mais importantes ao setor, principalmente em condições de campo, onde ocorrem fortes interações entre o patógeno, a planta hospedeira e o ambiente.

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho foram: (i) avaliar a reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada, em condições de infecção natural no campo; (ii) determinar a melhor época para avaliação da doença; (iii) estabelecer um método em casa de vegetação e com inoculação artificial do patógeno para seleção rápida de variedades com alta resistência à doença no campo.



## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Revisão bibliográfica

#### 2.1.1 Importância econômica da cultura da cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia, China, Tailândia e México (BRASIL, 2013). Na safra 2013/14, a área cultivada com cana-de-açúcar no país deverá atingir 8,9 milhões de hectares. O estado de São Paulo continuará como o maior produtor, com 51,3% da área, seguido por Minas Gerais e Goiás, cada um com 9,3%, Paraná, com 7,0%, e Mato Grosso do Sul, com 6,6%. A produtividade média brasileira está estimada em 73,5 t ha<sup>-1</sup>, o que representa um aumento de 5,9% em comparação à safra anterior, que foi de 69,7 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2013).

Ao todo, deverão ser processadas no Brasil 653,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, volume 11,0% superior ao da safra 2012/13, quando foram processadas 588,9 milhões de toneladas. Atualmente, o país conta com cerca de 430 unidades processadoras de cana-de-açúcar e aproximadamente 70 mil produtores. Do total de matéria-prima industrializada, 50,7% deverá ser destinada à produção de 43,6 milhões de toneladas de açúcar, e 49,3% à produção de 25,8 bilhões de litros de etanol, sendo 11,4 bilhões de litros de etanol anidro e 14,4 bilhões de litros de etanol hidratado (CONAB, 2013; UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2013).

O setor sucroenergético é de grande relevância socioeconômica para o Brasil, gerando recursos e empregos. O país é líder mundial em produção de açúcar, sendo responsável por 25% da produção e 50% das exportações. Em relação ao etanol, o país é o segundo maior produtor mundial, sendo responsável por 20% da produção e 20% das exportações. Com isso, o setor tem participação de US\$ 48 bilhões no PIB nacional e arrecada, anualmente, cerca de US\$ 15 bilhões em exportações. Ademais, o setor sucroenergético brasileiro gera 1,2 milhão de empregos diretos (UNICA, 2013).

O Brasil é reconhecido mundialmente pelo forte componente renovável de sua matriz energética; atualmente, mais de 47% da energia utilizada no país é originada de fontes renováveis. A cana-de-açúcar, matéria-prima para produção de etanol e bioeletricidade, é a segunda maior fonte de energia do país, respondendo por 18%

de toda a energia consumida pelo Brasil; comparativamente, a média mundial de utilização de fontes renováveis de energia é inferior a 10%. Algumas projeções mostram que a cana-de-açúcar fornecerá mais de 30% da necessidade energética do país em 2020 (UNICA, 2013; MATSUOKA; FERRO; ARRUDA, 2009).

O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar apresenta vantagens econômicas e ambientais em relação ao etanol produzido a partir de outras matérias-primas. Seu balanço energético (proporção entre a energia fóssil utilizada para produzi-lo e a energia contida no combustível produzido) é altamente positivo; são nove unidades de energia renovável produzidas para cada unidade de energia fóssil consumida na produção, contra 1,3 unidades obtidas pelo etanol de milho. Quanto à emissão de gases causadores do efeito estufa, o etanol da cana-de-açúcar, comparado à gasolina, reduz as emissões dos mesmos em cerca de 90% (UNICA, 2013).

A bioeletricidade é uma energia limpa e renovável, feita a partir da biomassa. No Brasil, 80% da bioeletricidade é originada dos resíduos da colheita e processamento da cana-de-açúcar (bagaço e palha). Cada tonelada de colmos industrializados para a produção de açúcar e etanol gera, em média, 250 kg de bagaço e 200 kg de palha e ponteiros. Com alto teor de fibras, o bagaço da cana-de-açúcar tem sido empregado na produção de vapor e energia elétrica para produção de açúcar e etanol, garantindo a autossuficiência energética das usinas durante o período da safra (UNICA, 2013).

### **2.1.2 Cultivo da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar tem como origem o continente asiático, provavelmente a Nova Guiné, e a maior parte de seu cultivo está concentrada entre as latitudes 35° Norte e 35° Sul do globo (DOORENBOS; KASSAM, 1994; VAN DILLEWIJN, 1952). É considerada uma planta semiperene, com dois ciclos básicos de produção no campo: o ciclo de cana-planta, que se inicia no plantio e se encerra com a primeira colheita; e os ciclos de cana-soca, que se iniciam após as colheitas e continuam sucessivamente até a reforma da área, que ocorre após quatro a cinco colheitas, em média (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011).

No Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada com dois períodos diferentes de colheita: de abril a dezembro na região Centro-Sul (Sul, Sudeste e Centro-Oeste), e de setembro a março nas regiões Norte e Nordeste. A época de plantio está

diretamente relacionada às condições climáticas de cada região; para que a cultura apresente um bom desenvolvimento inicial, devem-se considerar, entre outros fatores, a temperatura média do ar e a precipitação pluviométrica. Por outro lado, a maturação é favorecida pela ocorrência de um período de baixas temperaturas e relativo déficit hídrico (ANJOS; FIGUEIREDO, 2008).

Na região Centro-Sul, a cana-de-açúcar é plantada, na maioria das situações, entre setembro e março. Quando o plantio é realizado entre janeiro e maio, é denominado plantio de ano e meio, apresentando ciclo médio de 18 meses; quando realizado entre setembro e dezembro, é chamado plantio de ano, e apresenta ciclo mais curto, de 12 meses, em média. Mais recentemente, nas regiões onde não há limitação térmica e com possibilidade de irrigação de salvamento, vem se consolidando o plantio de inverno, que abrange o período de junho até a primeira quinzena de setembro. Na região Nordeste, o plantio de ano e meio, também conhecido como plantio de inverno ou sequeiro, é realizado de maio a agosto, enquanto que o plantio de ano, também chamado de plantio de verão ou irrigado, é realizado entre setembro e início de janeiro (ANJOS; FIGUEIREDO, 2008).

A produtividade da cana-de-açúcar é influenciada por condições climáticas, edáficas e por fatores biológicos. Entre estes últimos se encontram as doenças, que em algumas situações limitam o desenvolvimento da cultura, causando sérios prejuízos; por essa razão, as doenças da cana-de-açúcar se constituem em constante preocupação nos programas de melhoramento genético da cultura (WALKER, 1987). Das doenças mais importantes em cana-de-açúcar, destacam-se duas ferrugens, ambas provocadas por fungos do gênero *Puccinia*: a ferrugem marrom, causada por *P. melanocephala*, e a ferrugem alaranjada, causada por *P. kuehnii* (INFANTE et al., 2009).

Uma vez que ambas as ferrugens podem ocorrer simultaneamente em folhas de cana-de-açúcar, é importante a correta identificação e diferenciação das duas doenças. A coloração dos urediniósporos presentes nas pústulas é a característica morfológica mais distinta entre as ferrugens da cana-de-açúcar. Os urediniósporos de *P. kuehnii* possuem coloração alaranjada clara, enquanto que os de *P. melanocephala* são marrom-escuros. Adicionalmente, as pústulas de *P. kuehnii* são menores e mais ovais que as pústulas de *P. melanocephala* (GLYNN et al., 2010). Os urediniósporos de *P. melanocephala* são elípticos e possuem parede celular com espessura uniforme; já os urediniósporos de *P. kuehnii* são ovoides ou piriformes, e

possuem um espessamento na região apical da parede celular (VIRTUDAZO; NOJIMA; KAKISHIMA, 2001). A distinção entre os dois patógenos também pode ser feita por meio de ferramentas moleculares (GLYNN et al., 2010).

### **2.1.3 Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**

Atualmente, uma das doenças mais preocupantes na cultura da cana-de-açúcar é a ferrugem alaranjada. Esta doença foi relatada na Ásia e na Austrália há mais de cem anos, sem, no entanto, causar danos significativos (RYAN; EGAN, 1989). Porém, no início da década de 2000, na Austrália, a ferrugem alaranjada provocou perdas de até 200 milhões de dólares australianos ao atacar severamente a variedade Q124, que na época ocupava 45% da principal região canavieira daquele país (MAGAREY et al., 2001). Anos mais tarde, em junho de 2007, a ferrugem alaranjada chegou à Flórida, Estados Unidos (COMSTOCK et al., 2008). Nos meses seguintes, a doença foi constatada na Guatemala (OVALLE et al., 2008), Costa Rica e Nicarágua (CHAVARRÍA et al., 2009b). Em 2008, a doença também foi reportada no México, El Salvador e Panamá (FLORES et al., 2009).

Com a iminência da entrada do patógeno no país, programas brasileiros de melhoramento genético da cana-de-açúcar estabeleceram intercâmbios com agências de pesquisa internacionais, para que as variedades mais cultivadas e os clones promissores fossem testados quanto à reação à doença. Entretanto, em dezembro de 2009, na região de Araraquara, estado de São Paulo, a ferrugem alaranjada foi observada pela primeira vez no Brasil. Nas semanas seguintes, a doença foi relatada em diversas áreas de cultivo nos estados de São Paulo e Paraná, afetando uma pequena proporção de clones dos programas de melhoramento genético e principalmente as variedades comerciais SP89-1115, RB72454 e SP84-2025 (BARBASSO et al., 2010). Atualmente, a ferrugem alaranjada já se encontra disseminada nas principais regiões produtoras do país. Em 2010, a doença foi constatada na Colômbia (CADAVID; ÁNGEL; VICTORIA, 2012) e no continente africano (SAUMTALLY et al., 2011). Em junho de 2012, a doença foi observada pela primeira vez na Louisiana, Estados Unidos (GRISHAM et al., 2013).

A ferrugem alaranjada é causada pelo fungo *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E. J. Butler, pertencente à Divisão Basidiomycota, Classe Pucciniomycetes, Ordem Puccinales, Família Pucciniaceae (INDEX FUNGORUM, 2013). Trata-se de um

Saccharum (VIRTUDAZO; NOJIMA; KAKISHIMA, 2001).

Assim como as ferrugens de outras culturas, a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar é caracterizada por causar lesões foliares que, quando atingem a maturidade, rompem a epiderme da folha dando à superfície foliar uma aparência áspera (MAGAREY, 2000).

Os sintomas iniciais da ferrugem alaranjada são diminutas manchas amareladas, alongadas, que formam um halo verde-amarelado à medida que aumentam em tamanho. Conforme as lesões crescem, tornam-se alaranjadas a laranja-acastanhadas, dependendo da variedade de cana-de-açúcar atacada e, ao contrário da ferrugem marrom, as lesões da ferrugem alaranjada raramente se tornam marrom-escuras. As lesões rapidamente progridem e rompem a epiderme das folhas, formando as pústulas, que são observadas, principalmente, na face inferior das folhas. Geralmente, as pústulas da ferrugem alaranjada tendem a ocorrer agrupadas e próximas ao ponto de inserção da folha ao colmo. Progressivamente, as pústulas se abrem, liberando os urediniósporos, que são unicelulares, ovoides a piriformes ou elipsoides, equinulados, de coloração amarela a castanho-clara, com até cinco poros equatoriais, espessura de parede de 1 a 2,3 µm, apresentando espessamento no seu ápice. Em variedades altamente suscetíveis, as lesões evoluem rapidamente e coalescem, causando necroses (VIRTUDAZO; NOJIMA; KAKISHIMA, 2001; MAGAREY, 2000).

Os sintomas da ferrugem alaranjada são mais facilmente observados em plantas próximas do ponto de maturação a maduras, e a doença é favorecida em condições de verão úmido e alternância de calor e frio no outono (BRAITHWAITE et al., 2009; MAGAREY, 2000).

O vento e grandes massas de ar facilmente disseminam os urediniósporos de *P. kuehnii* (MAGAREY, 2000). O patógeno também pode ser transportado de uma planta para outra por meio de gotas de água. O homem pode ser um grande disseminador dos urediniósporos do fungo, levando-os nas roupas, calçados e transportando material vegetal doente (FERRARI et al., 2010).

Magarey, Neilsen e Magnani (2004) verificaram que, *in vitro*, a germinação de urediniósporos de *P. kuehnii* é favorecida em condições de umidade relativa igual ou superior a 97% e temperatura entre 17 e 24°C. Martins (2010) observou, em experimentos *in vitro*, que os urediniósporos germinaram na faixa de 10 a 25°C, e

que o crescimento do tubo germinativo foi mais rápido conforme se aumentava a temperatura, com redução de crescimento a partir de 25°C. *In vivo*, a autora notou que a doença ocorreu somente na faixa de 20 a 25°C, sendo que a 25°C as lesões foram maiores. Os períodos de incubação e de latência variaram de 11 a 16 dias. Para que a infecção fosse bem sucedida, o patógeno requereu um mínimo de 8 h de molhamento foliar, porém a doença foi mais severa em períodos de molhamento a partir de 12 h. Com os dados obtidos, concluiu que as zonas mais favoráveis à ferrugem alaranjada no estado de São Paulo são as regiões Centro-Sul e Centro-Norte, nas quais o cultivo de variedades suscetíveis deve ser evitado.

Santos (2013), a partir da avaliação das condições meteorológicas observadas durante a epidemia de ferrugem alaranjada ocorrida no estado de São Paulo em 2009/10, elaborou modelos que possibilitaram estimar a severidade da doença, estabelecendo o zoneamento da favorabilidade climática para sua ocorrência. Com base nessas informações, elaborou mapas de favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem alaranjada no estado de São Paulo. Foi observado que as regiões produtoras de cana-de-açúcar localizadas no Oeste paulista apresentam risco muito baixo a moderado, enquanto que no Centro-Leste do estado o risco é caracterizado como moderado-alto a alto.

Minchion, Canteri e Rocha (2011) obtiveram germinação máxima de urediniosporos de *P. kuehnii* à temperatura de 21°C e período de incubação de 12 h. De acordo com Neubauer et al. (2011), os períodos de janeiro a abril e de outubro a dezembro são os que apresentam maiores médias diárias de horas favoráveis ao desenvolvimento da doença na região Centro-Sul do Brasil, enquanto que no Nordeste este período compreende os meses de maio a setembro.

As quedas de produtividade causadas pela ferrugem alaranjada na Austrália foram de aproximadamente 40% (MAGAREY et al., 2001), chegando a 58% em alguns locais da região de Mackay (MAGAREY, 2010). Comparando-se a produtividade de variedades suscetíveis antes e após a epidemia de 2000 na Austrália, Magarey, Neilson e Bull (2004) observaram quedas de até 38% na produtividade, em toneladas de colmos por hectare. Em experimentos conduzidos para avaliar o controle químico da ferrugem alaranjada, Magarey, Staier e Willcox (2002) obtiveram aumentos de 37% na produtividade em parcelas tratadas com fungicidas, em comparação às não tratadas, indicando os possíveis danos causados pela doença. Raid, Comstock e Glynn (2011), com o objetivo de estimar os danos

provocados pela ferrugem alaranjada, realizaram ensaios utilizando a variedade CL85-1040, suscetível à doença. Comparando-se parcelas tratadas e não tratadas com fungicidas, notaram quedas de até 43% na produtividade, em toneladas de colmos por hectare, e de até 53% na produção de açúcar por unidade de área, ambas relacionadas à doença, segundo os autores.

De acordo com Zhao et al. (2011), a ferrugem alaranjada reduz o crescimento e o rendimento da cana-de-açúcar por meio de diminuições do conteúdo de clorofila nas folhas, da eficiência na fixação de carbono, da condutância estomática, da taxa de transpiração foliar e da taxa fotossintética líquida.

#### **2.1.4 Controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**

Existem duas formas de se controlar a ferrugem alaranjada: plantando-se variedades resistentes à doença ou aplicando-se fungicidas, principalmente quando a substituição de variedades suscetíveis em curto prazo não for possível. Atualmente, no Brasil, quatro produtos possuem registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para uso no combate à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, todos compostos de misturas entre estrobilurinas e triazóis (AGROFIT, 2013).

Magarey, Staier e Willcox (2002) estudaram o controle e a viabilidade econômica de fungicidas considerando diversos fatores, como o custo do produto e da aplicação, o custo da colheita e o preço do açúcar. Para isso, trabalharam com uma série de tratamentos, com o objetivo de se obter no campo diversos níveis de controle da doença na variedade Q124, suscetível à ferrugem alaranjada. Apesar dos níveis de severidade nas parcelas não tratadas com fungicidas não terem sido elevados (aproximadamente 10%), alguns tratamentos proporcionaram aumentos de até 40% no rendimento. A maioria mostrou bons retornos econômicos, indicando a viabilidade do controle da doença com fungicidas. Os melhores resultados foram obtidos com triazóis, principalmente o ciproconazol e o tebuconazol.

Em trabalho semelhante, Staier, Magarey e Willcox (2003) conduziram seis ensaios para avaliar fungicidas no controle da ferrugem alaranjada, em áreas comerciais da variedade suscetível Q124. Os níveis de severidade variaram entre os locais, chegando a 32% na região considerada a mais favorável à doença. Apesar dos tratamentos terem reduzido significativamente os níveis de severidade, os aumentos no rendimento da cultura variaram de 10 a 12% entre os locais. Segundo

os autores, a falta de umidade disponível no solo para o desenvolvimento da cultura impediu que os aumentos no rendimento fossem maiores, concluindo que o controle químico da ferrugem alaranjada será economicamente viável quando: (i) as primeiras aplicações ocorrerem no início da cadeia de infecção; (ii) as condições meteorológicas forem favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura; e (iii) as condições meteorológicas também forem favoráveis ao aumento da doença no campo. O ciproconazol e o tebuconazol apresentaram os melhores resultados no controle da doença.

Raid, Comstock e Glynn (2010) testaram a eficiência de 13 tratamentos fungicidas no controle da ferrugem alaranjada nos Estados Unidos, durante a safra 2008/09. Os níveis de severidade nas parcelas não tratadas chegaram a 30%. Os resultados indicaram que os fungicidas a base de estrobilurina proporcionaram os maiores níveis de controle, seguidos das combinações de estrobilurinas e triazóis e, por último, os triazóis aplicados isoladamente. Em ensaios realizados separadamente com o ingrediente ativo piraclostrobina (estrobilurina), os tratamentos fungicidas foram capazes de reduzir significativamente os níveis de severidade da ferrugem alaranjada, diminuindo em até 40% os danos da doença no rendimento da cultura.

Apesar dos bons resultados no controle da ferrugem alaranjada com alguns fungicidas, a principal forma de controlar a doença é o plantio de variedades resistentes (MAGAREY, 2000). O emprego de variedades resistentes é considerado o método ideal de controle de doenças de plantas, por ser aplicável em áreas extensas e por não causar impactos ambientais significativos (CAMARGO, 2011). O conhecimento da reação de variedades às doenças é importante para orientar produtores com relação ao que plantar em sua propriedade, visto que a utilização de variedades resistentes é a medida de controle mais recomendada para as doenças da cana-de-açúcar (TOKESHI; RAGO, 2005).

Segundo Magarey et al. (2001), na Austrália, quando houve o surto de ferrugem alaranjada na variedade Q124, no início da década de 2000, os principais genitores, os clones promissores do programa de melhoramento genético e as variedades comerciais mais importantes do país foram imediatamente inspecionadas. Os resultados apontaram que cerca de 80% do germoplasma australiano possuía bons níveis de resistência à ferrugem alaranjada. Os dados foram utilizados para seleção dos cruzamentos, assegurando, assim, a obtenção de

progênies resistentes à doença. Além da Q124, foi recomendada a substituição das variedades Q173, Q178 e Q182, todas suscetíveis ao patógeno.

Ovalle et al. (2009) relatam que, após a confirmação da presença da ferrugem alaranjada na Guatemala, foram organizadas visitas às áreas de produção de cana-de-açúcar do país, com o objetivo de avaliar a extensão e a severidade da doença. Todas as áreas plantadas com a variedade CP72-2086, considerada, na época, a mais importante na Guatemala, estavam infectadas; entretanto, segundo os autores, o nível de severidade era baixo. A SP79-2233 foi considerada como a mais suscetível dentre as variedades comerciais, e sua substituição nas regiões favoráveis à ferrugem alaranjada foi recomendada. Como opções, foram sugeridas as variedades CP88-1165, CP73-1547 e CP72-1312, além dos genótipos promissores CG96-01, CG96-78 e CG98-10, todos considerados resistentes à doença. Em ensaio montado para a avaliação de 68 genótipos, 50% não apresentaram qualquer evidência de infecção, enquanto que os níveis de sintomas dos demais genótipos variaram de 1% a 25%. A variedade SP79-2233 mostrou até 40% de severidade, enquanto a CP72-2086 mostrou 7%.

Chavarría e Barrantes (2009) estudaram, em 2008, o comportamento das 70 principais variedades comerciais e clones promissores da Costa Rica frente à ferrugem alaranjada. Os genótipos foram submetidos a condições de alta pressão de inóculo, existentes na região Sul do país. O objetivo era antecipar potenciais problemas, como o ocorrido com a variedade SP71-5574, a mais importante na Costa Rica, que mostrou alta suscetibilidade à doença quando da sua introdução no país. Dos genótipos testados, 76% foram altamente resistentes à doença, enquanto que a variedade SP71-5574 teve média de 30% de severidade.

Comstock, Glynn e Davidson (2010), após a introdução da ferrugem alaranjada na Flórida em 2007, determinaram a reação à doença de diversas variedades comerciais, variedades de lançamento recente, clones em fase de seleção, genitores e variedades antigas. Das seis variedades mais cultivadas na Flórida, quatro apresentaram reação variando de moderadamente suscetível a suscetível; destas, a variedade CP80-1743 mostrou maior suscetibilidade, e sua substituição foi recomendada. As variedades de liberação recente CP00-1101, CP00-1446, CP00-2180, CP01-1372 e CPCL97-2730 foram classificadas como resistentes a moderadamente resistentes, surgindo como opções de plantio em substituição às variedades suscetíveis. Com relação aos genitores, uma alta

proporção foi suscetível à ferrugem alaranjada, diferentemente do ocorrido na Austrália (MAGAREY et al., 2001); esta diferença, segundo os autores, pode ser atribuída ao maior período de convivência dos australianos com o patógeno, enquanto que *P. kuehnii* foi detectado recentemente no hemisfério Oeste. Das variedades antigas, 59% foram classificadas como resistentes à ferrugem alaranjada. Diante dos resultados obtidos, os autores concluíram que mudanças são necessárias no programa de melhoramento genético local, com o objetivo de aumentar o nível de resistência das populações à ferrugem alaranjada.

Sood, Comstock e Glynn (2009) inocularam, no campo, 0,5 mL de uma suspensão de urediniosporos de *P. melanocephala* e *P. kuehnii* nos cartuchos foliares das plantas. Os sintomas das ferrugens se desenvolveram nas variedades suscetíveis após quatro semanas, surgindo na forma de pústulas agrupadas. As concentrações ótimas para inoculação foram de  $10^5$  e  $10^4$  urediniosporos mL<sup>-1</sup> para a ferrugem marrom e para a ferrugem alaranjada, respectivamente. Em 2008, um total de 1470 genótipos foi inoculado, dos quais 711 (48%) se comportaram como resistentes para ambas as ferrugens. Este método de inoculação possibilitou uma avaliação rápida de um grande número de cultivares no campo, utilizando uma quantidade pequena de inóculo e pouca mão de obra. Sood, Comstock e Raid (2013) observaram correlação significativa entre as notas de ferrugem alaranjada obtidas com o método de inoculação no cartucho foliar e as notas dos mesmos genótipos obtidas em condições naturais de infecção.

Além do plantio de variedades resistentes à ferrugem alaranjada, recomenda-se, como medida de segurança, que uma única variedade não seja cultivada em áreas extensas; segundo Magarey (2010), isso aumenta o risco de danos por possíveis epidemias. De acordo com Walker (1987), extensas áreas cultivadas com uma única variedade favorecerão o surgimento de populações relativamente grandes do patógeno, as quais poderão apresentar variações de agressividade que, se não forem monitoradas, poderão aumentar ao ponto da doença causar grandes quedas de produtividade ou mesmo atingir níveis epidêmicos. Outra medida importante é a inspeção constante de variedades comerciais e de clones promissores, pois genótipos resistentes, com o passar do tempo, podem se tornar mais vulneráveis à doença, devido à variabilidade do patógeno (MAGAREY et al., 2001).

Braithwaite et al. (2009) compararam um total de 28 isolados de *P. kuehnii*, de diversas origens (campos comerciais, variedades selvagens, jardins), coletados na Ásia e Oceania. Foram obtidos três grupos filogenéticos, todos eles compatíveis morfologicamente com *P. kuehnii*. Os isolados de campos comerciais da Austrália pertenciam ao grupo I, enquanto que os isolados de variedades selvagens e de jardins de Papua Nova Guiné e da Indonésia pertenciam aos grupos II e III. Estes resultados sugerem a existência de variabilidade genética entre isolados de *P. kuehnii*.

Glynn et al. (2010) também observaram variabilidade entre isolados de *P. kuehnii* coletados em diversas áreas de produção de cana-de-açúcar do mundo. Por meio de análises de polimorfismo na região ITS1 do DNA, foram encontrados dois alelos, 183A e 183G. O primeiro foi encontrado em todas as amostras coletadas, enquanto que o alelo 183G foi detectado em 52% das amostras da Ásia e da Austrália, estando ausente das amostras do hemisfério Oeste. Tal fato tem importante implicação no desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar com resistência durável à ferrugem alaranjada. Segundo os autores, os programas de melhoramento devem tentar incorporar em seus genótipos resistência tanto aos isolados com o alelo 183A como aos que carregam o alelo 183G, combatendo, assim, possíveis diferenças na virulência que possam estar associadas aos dois alelos identificados nesse estudo.

Peixoto Júnior (2011) avaliou, por meio do desenvolvimento de uma biblioteca enriquecida em locos de microssatélites, a variabilidade genética entre isolados de *P. melanocephala*, agente causal da ferrugem marrom da cana-de-açúcar e pertencente ao mesmo gênero de *P. kuehnii*. Além disso, avaliou a patogenicidade de isolados de diferentes regiões produtoras de cana-de-açúcar. A variabilidade genética dos isolados de *P. melanocephala* foi alta, porém a análise de agrupamento não permitiu a separação dos isolados de acordo com sua região de origem. Análises de diversidade e divergência genética sugeriram que a variabilidade genética está igualmente distribuída entre as regiões estudadas, ocorrendo uma única população heterogênea. De acordo com o autor, estes resultados indicam que o melhoramento genético para resistência à ferrugem marrom deve ser conduzido em locais com clima favorável à doença, que possivelmente representam a diversidade genética existente em diferentes regiões de cultivo.

Moreira (2013) analisou e comparou o comportamento de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com seis diferentes populações de *P. kuehnii*, coletadas nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Além disso, sequenciou as regiões ITS e IGS de todas as populações e as comparou entre si e com sequências do patógeno de vários países. As populações de *P. kuehnii* estudadas não constituíram diferentes raças virulentas; entretanto, uma população coletada em Araras, SP, foi considerada uma raça mais agressiva do patógeno. Para as regiões ITS e IGS, as populações estudadas apresentaram sequências idênticas entre si e comparadas às sequências do continente americano, mas foram diferentes das sequências da Austrália, China, Filipinas, Havaí (EUA), Indonésia, Japão, Papua Nova Guiné e Samoa.

A forma mais comum de conduzir ensaios para classificar a reação de variedades às ferrugens da cana-de-açúcar é através da exposição das plantas a condições naturais de infecção, em locais onde haja condições de molhamento foliar suficientes para assegurar a ocorrência das doenças. Diariamente, pústulas liberam grandes quantidades de urediniósporos, durante um longo período, e a disseminação aérea destes propágulos é muito eficiente; portanto, ensaios para a avaliação das ferrugens da cana-de-açúcar não requerem o plantio de muitas linhas infectoras. É importante, porém, que sejam incluídas variedades padrões com diferentes reações à doença, permitindo a avaliação das variedades testadas com segurança, mesmo com o estabelecimento de parcelas pequenas. Porém, a maioria dos melhoristas prefere incorporar observações de ferrugens na programação normal de seleção de genótipos, descartando materiais com altos níveis de doença ao longo das fases do melhoramento. A durabilidade da resistência é de grande preocupação para muitas ferrugens, mas aparentemente a resistência às ferrugens da cana-de-açúcar não depende exclusivamente de um único gene (WALKER, 1987).

Espera-se que as variedades consideradas suscetíveis à ferrugem alaranjada não sejam mais plantadas em áreas significativas. No entanto, ainda existem dúvidas com relação a outras variedades, que em algumas situações apresentam comportamento semelhante ao de variedades resistentes e, em outras, comportamento semelhante ao de variedades suscetíveis. Por isso, é interessante o estudo da reação das variedades comerciais mais cultivadas em determinado país, estado ou região, frente à ferrugem alaranjada. Para que este estudo gere

resultados confiáveis, é necessário considerar que: (i) as variedades envolvidas devem ser expostas a condições ambientais favoráveis à doença; (ii) as concentrações de inóculo devem ser suficientes para causar infecção; (iii) o inóculo deve estar distribuído de maneira uniforme na área onde o experimento está instalado; e (iv) a quantificação da doença deve ser realizada adequadamente.

### **2.1.5 Avaliação de doenças de plantas**

A quantificação de doenças de plantas objetiva avaliar a intensidade, ou seja, a quantidade de doença numa população de plantas, órgãos ou produtos de plantas (MAFFIA et al., 2007). A quantificação de doenças é fundamental tanto para estudos de medidas de controle e caracterização de resistência varietal, como para estudos epidemiológicos e de estimativas de danos (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2011).

O sucesso de um método para quantificação de doenças de plantas proporcionará resultados acurados, precisos e reproduzíveis. Acurácia refere-se à proximidade entre o valor amostrado (média) e o valor real da quantidade de doença, enquanto que precisão refere-se à variação associada com a estimativa da quantidade de doença na amostra. O método utilizado também deve ser descritível, de maneira tal que outros pesquisadores possam avaliar como os dados foram coletados e reproduzir o método se o mesmo lhe for útil. O esquema de avaliação deve ser apropriado para o estudo e preencher os objetivos da pesquisa. A frequência de avaliações pode variar com o objetivo da pesquisa, podendo ser determinada por fatores inerentes ao patossistema e à epidemia, ou até mesmo por fatores econômicos (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2011; CAMPBELL; MADDEN, 1990).

Os métodos de avaliação de doenças podem ser separados em diretos e indiretos. Nos métodos diretos, a estimativa da quantidade de doença é feita diretamente através dos sintomas, enquanto que nos métodos indiretos a quantidade de doença é estimada pela população do patógeno, sendo mais utilizados para doenças causadas por vírus e nematóides (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2011).

Os principais métodos diretos de avaliação de doenças são as estimativas da incidência e da severidade. Incidência refere-se ao número ou proporção de plantas, ou partes de plantas, doentes (por exemplo, folhas, ramos ou frutos que apresentam qualquer sintoma). A avaliação de incidência é relativamente rápida e fácil, sendo

utilizada rotineiramente em estudos epidemiológicos para medir a propagação de uma doença através de um campo, região ou país (AGRIOS, 2005).

Segundo Amorim e Bergamin Filho (2011), a incidência é uma variável satisfatória para avaliar doenças durante a fase inicial da epidemia, quando a incidência pode ser correlacionada com a severidade. Porém, em fases mais avançadas, a incidência não deve ser utilizada independentemente da severidade, por não representar com clareza a intensidade da doença. Considerando como exemplo a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, uma avaliação nos períodos favoráveis à doença e baseada apenas na incidência, forneceria dados alarmantes para a maioria das variedades cultivadas, visto que praticamente todas as plantas poderiam apresentar ao menos uma pústula. Dessa forma, a avaliação da incidência é mais comum para doenças que atacam a planta toda, como as viroses sistêmicas e as murchas vasculares, ou para doenças em que uma única infecção é suficiente para impedir a comercialização do produto, como as podridões de frutos.

Por outro lado, a severidade refere-se à proporção da área ou à quantidade de tecido da planta, ou órgão da planta, com sintomas (AGRIOS, 2005). Segundo Amorim e Bergamin Filho (2011), a severidade é mais adequada para quantificar doenças foliares, como oídios, míldios, manchas e ferrugens, casos em que a porcentagem da área de tecido coberto por sintomas retrata melhor a intensidade da doença que a incidência. Entretanto, quantificar a área doente com precisão é uma tarefa laboriosa; para contornar este inconveniente, algumas estratégias podem ser utilizadas, como, por exemplo, o uso de escalas diagramáticas.

Escalas diagramáticas são representações ilustradas de uma série de plantas ou partes de plantas com sintomas em diferentes níveis de severidade. Elas devem ser simples, aplicáveis em diferentes condições e possuir intervalos suficientes para representar os diferentes níveis de severidade de uma determinada doença. O uso de escalas diagramáticas tem sido bem sucedido, principalmente no trabalho de seleção de materiais resistentes em programas de melhoramento, servindo, na verdade, de guia para o avaliador que determinará a severidade da doença (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2011).

Atualmente, para avaliação da severidade da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, tem sido utilizada a escala diagramática de Amorim et al. (1987), proposta para avaliação da ferrugem marrom. Recentemente, Klosowsky et al. (2013) elaboraram e validaram uma escala diagramática para ferrugem alaranjada,

com nove níveis de severidade, de maneira semelhante à escala para ferrugem marrom. A validação, realizada por oito avaliadores, mostrou que a escala proposta foi eficiente, proporcionando um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) médio de 0,91 e ausência de erros constantes e sistemáticos entre os avaliadores.

## **2.2 Material e Métodos**

### **2.2.1 Experimentos de campo**

#### **2.2.1.1 Variedades utilizadas**

Nos experimentos de campo, foram utilizadas 17 variedades, listadas na Tabela 1. Dezenas variedades foram selecionadas com base na porcentagem de participação em áreas de cultivo nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (CHAPOLA et al., 2011); juntos, esses dois estados representam 57,9% da área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil e 66,2% na região Centro-Sul (CONAB, 2013). A seleção da SP79-2233 se baseou em sua reação de suscetibilidade, observada por Ovalle et al. (2010) na Guatemala.

Tabela 1 - Variedades de cana-de-açúcar utilizadas nos experimentos de campo para determinação da reação das mesmas à ferrugem alaranjada

<b>Variedades</b>		
RB72454 <sup>(a)</sup>	RB92579	SP80-3280
RB835054	RB925211	SP81-3250
RB855156	RB935744	SP83-2847
RB855453	RB966928	SP89-1115 <sup>(a)</sup>
RB855536	SP79-2233 <sup>(a)</sup>	SP91-1049
RB867515	SP80-1842	

<sup>(a)</sup> Variedade suscetível à ferrugem alaranjada (BARBASSO et al., 2010; OVALLE et al., 2010).

#### **2.2.1.2 Plantio dos experimentos**

Os experimentos de campo foram conduzidos no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (CCA/UFSCar), localizado em Araras, estado de São Paulo. O município está situado na latitude 22º18' Sul e longitude 47º23' Oeste, com altitude média de 611 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa mesotérmico, com verões quentes e úmidos, e invernos secos. As temperaturas médias e as precipitações pluviométricas mensais estão

apresentadas na Tabela 2. A cidade de Araras está inserida em uma região do estado de São Paulo caracterizada como de risco moderado-alto a alto à ocorrência de epidemias de ferrugem alaranjada (SANTOS, 2013). Além disso, segundo Moreira (2013), em estudo envolvendo populações de *P. kuehnii* coletadas em São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná, a população do patógeno coletada em Araras foi considerada a mais agressiva.

Tabela 2 - Temperaturas médias e precipitações pluviométricas mensais do município de Araras, estado de São Paulo – Médias históricas

Mês	Temperatura média ( <sup>º</sup> C) <sup>(a)</sup>	Precipitação pluviométrica (mm) <sup>(a)</sup>
Janeiro	23,9	284,9
Fevereiro	24,2	193,3
Março	23,6	152,2
Abril	21,9	71,3
Maio	19,1	71,1
Junho	17,9	45,6
Julho	17,9	36,3
Agosto	19,7	30,5
Setembro	21,0	67,8
Outubro	22,5	121,3
Novembro	23,1	149,3
Dezembro	23,6	216,8

<sup>(a)</sup> Fonte: Dados climatológicos – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos. Disponível em <http://www.cca.ufscar.br/servicos/dados-climatologicos/>

O primeiro experimento foi plantado em abril de 2011 e o segundo em julho de 2011, ambos em condições de infecção natural do patógeno. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas corresponderam a duas linhas de 2 m de comprimento, com 1,4 m de espaçamento entre as linhas. Para multiplicar e uniformizar a distribuição do inóculo na área, a variedade suscetível SP89-1115 foi usada como bordadura e entre os blocos, além de ter sido plantada em duas linhas, dividindo cada área experimental ao meio.

### 2.2.1.3 Avaliações

A intensidade da ferrugem alaranjada foi medida diretamente através da severidade (KLOSOWSKY et al., 2013; OVALLE et al., 2010; CHAVARRÍA; BARRANTES, 2009), que foi determinada visualmente e expressa como porcentagem da área foliar afetada (%AFA). Para efeito de padronização entre as

avaliações, realizaram-se todas as medições nas folhas +3, segundo sistema de Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952), ou seja, na terceira folha expandida, contando-se de cima para baixo (Figura 1). Segundo Chavarría et al. (2009a), estimativas de severidade da ferrugem alaranjada feitas na folha +3 apresentam maior consistência em relação ao comportamento dos desvios padrões; em contrapartida, as folhas +1 e +2 mostraram uma tendência crescente dos desvios padrões em função do nível de severidade. A %AFA foi obtida estimando-se a proporção de tecido com sintomas da doença em relação à área total da folha. Foram avaliadas cinco plantas por linha, totalizando dez plantas avaliadas por parcela.

A severidade foi estimada por quatro avaliadores, com auxílio da escala diagramática de Amorim et al. (1987), ilustrada na Figura 2. Apesar de ter sido proposta para avaliação da ferrugem marrom da cana-de-açúcar, esta escala vem sendo utilizada por pesquisadores e produtores para avaliação da ferrugem alaranjada (SAITO; IMAI; TOMMASELLI, 2013; SANTOS, 2013; MOREIRA et al., 2012). Apenas recentemente, Klosowsky et al. (2013) propuseram uma escala diagramática específica para estimar a severidade da ferrugem alaranjada.

As estimativas de severidade da ferrugem alaranjada foram realizadas aproximadamente a cada 15 dias. As avaliações se iniciaram aos quatro meses após o plantio e foram conduzidas até a estabilização ou redução dos sintomas nas variedades suscetíveis. Ao todo, foram feitas 16 avaliações no primeiro experimento e 12 no segundo. Em maio de 2012 os ensaios foram colhidos e, no ciclo de cana-soca do segundo experimento, foram realizadas ainda mais 17 avaliações da severidade da ferrugem alaranjada, de maneira idêntica à já descrita.



Figura 1 - Localização da folha +3 em planta de cana-de-açúcar (seta branca)

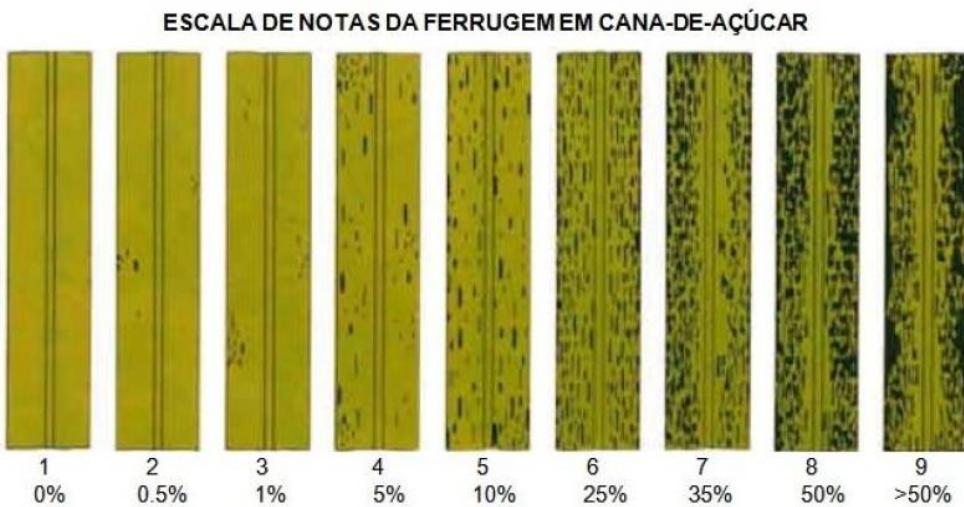


Figura 2 - Escala diagramática para avaliação da ferrugem marrom da cana-de-açúcar (AMORIM et al., 1987)

#### 2.2.1.4 Análise dos dados

A partir dos dados de severidade obtidos nas diferentes avaliações, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para cada variedade, conforme equação de Campbell e Madden (1990), apresentada a seguir:

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) \times (t_{i+1} - t_i)$$

Em que: AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença;  $y_i$  = proporção da doença na  $i$ -ésima observação;  $t_i$  = tempo na  $i$ -ésima observação (em dias); e  $n$  = número total de observações.

Além da AACPD, também foi obtida a severidade máxima da doença por variedade. Os dados de AACPD e severidade máxima foram submetidos à análise de variância, e as médias das variedades foram comparadas entre si, utilizando-se o teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Em seguida, procedeu-se à análise de correlação entre a AACPD e a severidade obtida em cada um dos levantamentos, com a finalidade de verificar o melhor período para avaliação da doença. Realizou-se, também, análise de correlação entre as estimativas de AACPD das duas avaliações em cana-planta e da avaliação em cana-soca, com o objetivo de verificar se houve coincidência no comportamento das variedades entre os experimentos e entre os ciclos da cultura. Para todas as análises estatísticas, utilizou-se o software Assistat 7.6 beta.

### **2.2.2 Experimento em casa de vegetação**

O experimento foi realizado no Departamento de Fitopatologia e Nematologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, localizada no município de Piracicaba, estado de São Paulo.

#### **2.2.2.1 Variedades utilizadas e plantio**

Para o experimento em casa de vegetação, foram selecionadas seis variedades com base nos resultados dos experimentos de campo, sendo duas suscetíveis, duas intermediárias e duas resistentes à doença. Rebolos de uma gema foram plantados em bandejas plásticas, contendo substrato a base de solo, areia e esterco de gado na proporção de 3:3:1 e esterilizado em autoclave por três vezes sucessivas.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, e as parcelas foram compostas por três plantas. Instalou-se o ensaio em maio de 2013 e, após o plantio dos rebolos, as bandejas foram mantidas em casa de vegetação durante 60 dias, quando se realizou a inoculação das plantas.

#### **2.2.2.2 Preparo do inóculo e inoculação**

Urediniósporos de *P. kuehnii* foram coletados de diversas folhas com sintomas da doença, com auxílio de uma escova de cerdas duras (Figura 3). Os

urediniósporos foram mantidos no interior de tubo Falcon e em temperatura ambiente até o momento da inoculação, realizada no dia seguinte.



Figura 3 - Coleta de urediniósporos de *Puccinia kuehnii* em folha de cana-de-açúcar com sintomas de ferrugem alaranjada

Logo após a coleta, testou-se a germinação dos urediniósporos em placas contendo meio ágar-água a 2%, que foram mantidas no escuro por 12 horas. A avaliação foi realizada em microscópio de luz, observando-se diretamente as placas, e a viabilidade obtida foi de 70%. Consideraram-se germinados os urediniósporos com tubo germinativo de comprimento superior ao seu diâmetro.

Os urediniósporos foram adicionados à água destilada, e a suspensão foi homogeneizada em agitador magnético durante 15 minutos. Em seguida, a suspensão foi calibrada e ajustada para  $10^4$  urediniósporos viáveis  $\text{mL}^{-1}$  (SOOD; COMSTOCK; GLYNN, 2009), utilizando-se câmara de Neubauer. A suspensão obtida foi inoculada com pulverizador manual nas plantas, priorizando-se a face abaxial das folhas, até atingir o ponto de escorrimento.

#### **2.2.2.3 Pós-inoculação**

Após a inoculação, as plantas foram colocadas em câmara de orvalho, onde permaneceram por 24 horas, em temperatura média de 22°C. O umidificador de ar utilizado na câmara de orvalho foi programado para ligar durante 15 minutos a cada duas horas, o que proporcionou condições de umidade próxima à saturação. Posteriormente, as plantas foram transferidas para casa de vegetação, onde permaneceram durante o período de condução do ensaio.

#### **2.2.2.4 Avaliações e análise dos dados**

Diariamente, as plantas foram observadas até o aparecimento dos sintomas, para determinação do período de incubação, compreendido entre a inoculação e o aparecimento dos primeiros sintomas visíveis a olho nu em duas das três plantas da parcela. Também foi avaliado o período de latência, estabelecido como o tempo entre a inoculação e a esporulação em mais de 50% das pústulas.

Após a determinação do período de latência, avaliou-se o número de pústulas por  $\text{cm}^2$ . Para isso, foram realizadas duas avaliações ao acaso nas folhas +1 e +2 de cada planta, com auxílio de um molde com duas janelas de  $1 \text{ cm}^2$  cada, considerando-se como o número de pústulas por  $\text{cm}^2$  a média das duas contagens (GÓMEZ, 2013).

A severidade da ferrugem alaranjada foi quantificada por meio da área foliar com sintomas da doença, determinada após o período de latência. Para isso, as pústulas de cada folha foram desenhadas em folhas plásticas transparentes, que foram submetidas a um integralizador para estimar a área foliar doente. Em seguida, folhas inteiras das plantas também foram submetidas ao mesmo equipamento, para determinação da área total de cada folha. Com isso, foi possível calcular a porcentagem de área atacada em relação à área total das folhas. Foram realizadas três leituras para cada folha, considerando-se a média das observações para os cálculos (GÓMEZ, 2013).

Os resultados obtidos para todas as variáveis foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas entre si utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Assistat 7.6 beta.

### **2.3 Resultados e discussão**

#### **2.3.1 Experimentos de campo**

##### **2.3.1.1 Reação das variedades à doença**

Os resultados da Tabela 3 mostram que a coincidência no comportamento das variedades de cana-de-açúcar com relação à ferrugem alaranjada, nos diferentes experimentos e nos diferentes ciclos, avaliada por meio do coeficiente de correlação, foi alta e significativa para todas as combinações possíveis, tanto para a

AACPD como para a severidade máxima da doença. Isto indica que, independentemente da época de plantio (abril ou julho) e do ciclo avaliado (cana-planta ou cana-soca), as reações das variedades à ferrugem alaranjada sofreram poucas alterações.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre dois diferentes experimentos e dois diferentes ciclos da cultura, para a área abaixo da curva de progresso da doença e para a severidade máxima da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, avaliadas em 17 variedades

Experimentos <sup>(a)</sup>	AACPD <sup>(b)</sup>	Severidade Máxima <sup>(c)</sup>
1 – cana-planta x 2 – cana-planta	0,99**	0,99**
1 – cana-planta x 2 – cana-soca	0,98**	0,99**
2 – cana-planta x 2 – cana-soca	0,99**	0,98**

<sup>(a)</sup> 1 – cana-planta: plantio em abril de 2011; 2 – cana-planta: plantio em julho de 2011; 2 – cana-soca: início do ciclo em maio de 2012.

<sup>(b)</sup> Área abaixo da curva de progresso da doença.

<sup>(c)</sup> Porcentagem de área da folha +3 afetada.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

As curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar, obtidas a partir de 16 avaliações realizadas no primeiro experimento, plantado em abril de 2011, estão apresentadas na Figura 4; com o objetivo de facilitar a observação das curvas, foram excluídos os dados das variedades com níveis de sintomas inferiores a 1% de severidade. Pode-se notar que, nas variedades RB72454 e SP89-1115, a evolução dos sintomas ocorreu mais cedo em relação às demais, ou seja, no início de janeiro de 2012. Já nas variedades SP79-2233, RB925211 e SP81-3250, a epidemia teve incremento inicial entre o final de janeiro e meados de fevereiro, enquanto que, na RB855156 e na RB92579, estes aumentos se deram nas últimas avaliações, entre março e abril.

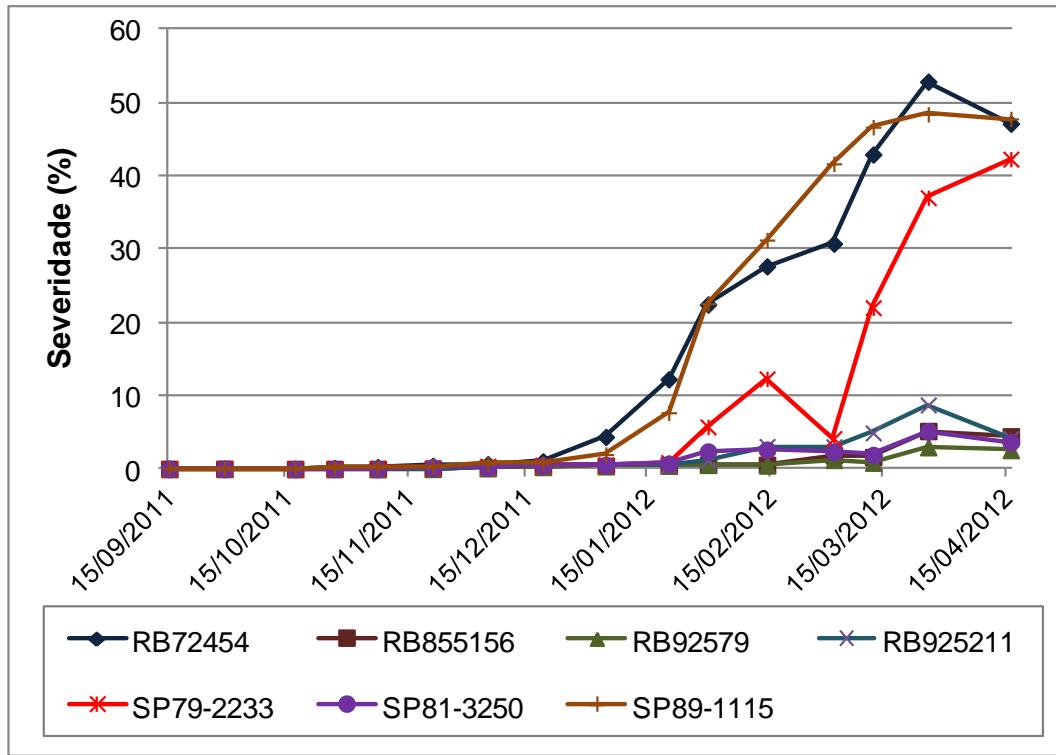


Figura 4 - Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em abril de 2011

Os resultados da Tabela 4 mostram que, no primeiro experimento, houve diferença significativa entre as variedades de cana-de-açúcar para a AACPD e severidade máxima da ferrugem alaranjada. A precisão experimental, obtida pelo coeficiente de variação, foi de 6,77% e 12,72%, para a AACPD e severidade máxima, respectivamente.

Considerando a variável severidade máxima, foi possível separar as variedades em seis diferentes grupos, por meio do teste de Skott-Knott a 5% de significância (Tabela 4). O primeiro deles foi representado pelas variedades mais suscetíveis, RB72454 (52,90%) e SP89-1115 (50,83%) e, em seguida, no segundo grupo, ficou a cultivar SP79-2233 (44,28%). O terceiro grupo foi representado pela RB925211 (8,73%), com severidade máxima muito inferior aos dois primeiros grupos. Um quarto nível de reação foi composto pelas variedades SP81-3250 (5,30%) e RB855156 (5,18%); em seguida, a RB92579 (3,25%) representou a quinta classe. As cultivares RB835054 (0,30%), RB935744 (0,28%), RB855453, RB855536, RB867515, RB966928, SP80-1842, SP80-3280, SP83-2847 e SP91-1049 formaram o último grupo, sendo que apenas as duas primeiras apresentaram sintomas da ferrugem alaranjada, porém em porcentuais muito baixos.

Tabela 4 - Área abaixo da curva de progresso da doença e severidade máxima da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em abril de 2011

Variedades	AACPD <sup>(a)</sup>	Severidade Máxima (%) <sup>(b)</sup>
SP89-1115	3412,58 a <sup>(c)</sup>	50,83 a
RB72454	3335,83 a	52,90 a
SP79-2233	1716,79 b	44,28 b
RB925211	385,61 c	8,73 c
SP81-3250	284,43 d	5,30 d
RB855156	218,31 e	5,18 d
RB92579	140,10 f	3,25 e
RB835054	8,16 g	0,30 f
RB935744	5,84 g	0,28 f
RB855453	0,00 h	0,00 f
RB855536	0,00 h	0,00 f
RB867515	0,00 h	0,00 f
RB966928	0,00 h	0,00 f
SP80-1842	0,00 h	0,00 f
SP80-3280	0,00 h	0,00 f
SP83-2847	0,00 h	0,00 f
SP91-1049	0,00 h	0,00 f
Média Geral	559,27	10,06
CV (%)	6,77	12,72
Teste F	1097,39**	283,93**

<sup>(a)</sup> Área abaixo da curva de progresso da doença; dados transformados em log (x+1).

<sup>(b)</sup> Porcentagem de área da folha +3 com sintomas; dados transformados em  $\sqrt{x + 0,5}$ .

<sup>(c)</sup> Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Skott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

Ainda na Tabela 4, considerando a variável AACPD, as variedades foram separadas em oito diferentes grupos. Assim como para a severidade máxima, a SP89-1115 (3412,58) e a RB72454 (3335,83) formaram a primeira classe, isto é, a de maior suscetibilidade à ferrugem alaranjada. Um segundo nível foi composto pela SP79-2233 (1716,79), com AACPD aproximadamente 50% inferior ao primeiro grupo. A RB925211 (385,61) representou um terceiro nível de reação, com AACPD 78% menor que a SP79-2233. A quarta classe foi formada pela cultivar SP81-3250 (284,43), seguida pela RB855156 (218,31), que constituiu o quinto grupo de reação, e pela RB92579 (140,10), que formou o sexto nível. As variedades RB835054 (8,16) e RB935744 (5,84), que ficaram no grupo de maior resistência considerando a

severidade máxima, formaram o sétimo nível de reação, com AACPD cerca de 95% inferiores à RB92579. As cultivares RB855453, RB855536, RB867515, RB966928, SP80-1842, SP80-3280, SP83-2847 e SP91-1049 foram altamente resistentes à ferrugem alaranjada e compuseram o último nível de classificação.

Observando-se conjuntamente as curvas de progresso da doença, apresentadas na Figura 4, e os resultados da Tabela 4, é possível notar que a RB72454 e a SP89-1115 foram as variedades mais suscetíveis à ferrugem alaranjada, pois apresentaram incrementos de severidade antes das outras cultivares avaliadas e mostraram maiores níveis de severidade da doença, o que explica os valores de AACPD superiores. Em relação às variedades SP79-2233, RB925211 e SP81-3250, apesar dos aumentos na epidemia terem sido observados em períodos próximos, a doença atingiu níveis superiores de severidade na primeira delas e, portanto, sua AACPD foi superior, seguida da RB925211, que foi superior a SP81-3250, tanto para severidade máxima como para AACPD; esta última, aliás, não diferiu da RB855156 para severidade máxima, mas como a doença iniciou sua evolução mais cedo na SP81-3250, sua AACPD foi superior à RB855156. Por último, a RB92579 mostrou incrementos nos sintomas juntamente com a RB855156, porém teve AACPD inferior a esta devido à menor intensidade dos sintomas observados.

Na Figura 5, estão apresentadas as curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar, obtidas a partir de 12 avaliações realizadas no segundo experimento, plantado em julho de 2011. Pode-se observar que a primeira variedade a mostrar evolução nos sintomas foi a RB72454, a partir de meados de janeiro de 2012, seguida da SP89-1115, que apresentou aumentos de severidade a partir de fevereiro. De meados de fevereiro até o início de março, houve incremento da epidemia nas cultivares SP79-2233, RB925211 e SP81-3250, enquanto que, na RB855156 e na RB92579, este aumento foi observado em meados de março.

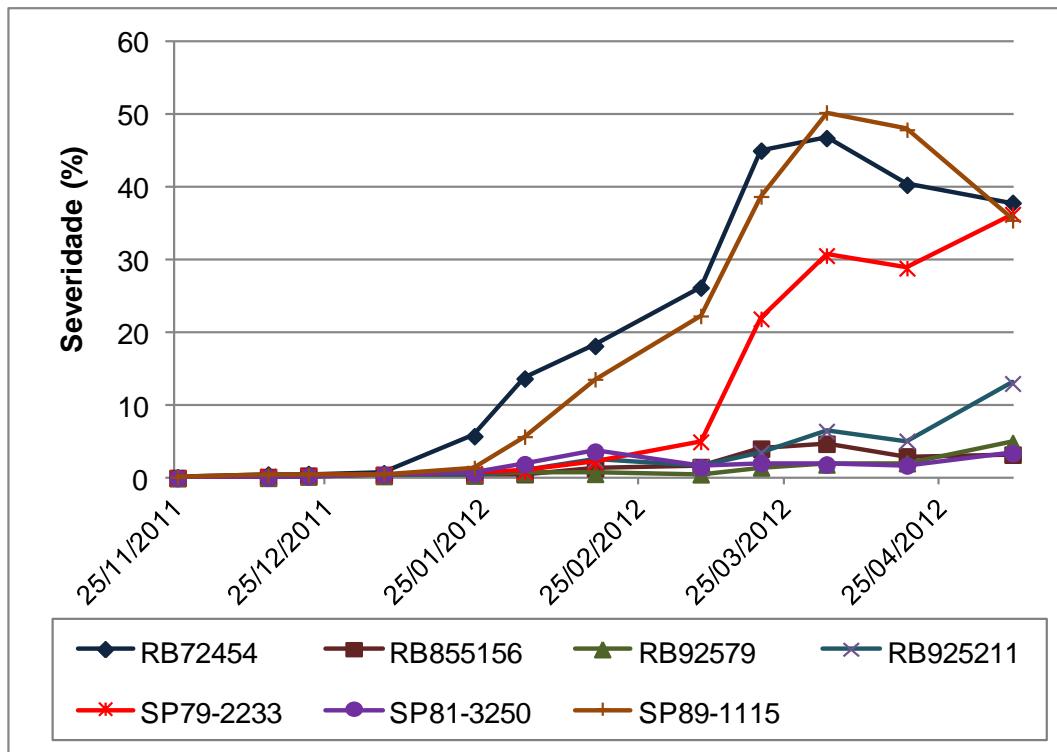


Figura 5 - Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em julho de 2011

Os resultados do segundo experimento são mostrados na Tabela 5; pode-se notar que houve diferença significativa entre as variedades para as duas variáveis consideradas, e que os coeficientes de variação foram de 7,92% e 17,91% para AACPD e severidade máxima, respectivamente.

Para severidade máxima, a divisão das variedades por meio do teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade, gerou resultados semelhantes ao do experimento plantado em abril de 2011 (Tabela 4), como pode ser observado na Tabela 5. Entretanto, ao invés de seis grupos, foram formados apenas cinco, com as variedades RB855156 (5,50%), RB92579 (4,85%) e SP81-3250 (4,13%) constituindo, juntas, o quarto nível de classificação. A SP89-1115 (52,50%) e a RB72454 (49,88%) apresentaram as maiores severidades máximas, seguidas da SP79-2233 (37,95%). A terceira classe foi composta pela RB925211 (13,00%), e a quinta e última classe foi formada pelas cultivares RB835054 (0,48%), RB935744 (0,28%), RB855453, RB855536, RB867515, RB966928, SP80-1842, SP80-3280, SP83-2847 e SP91-1049, com apenas as duas primeiras apresentando sintomas da doença, porém em baixas porcentagens.

Ainda na Tabela 5, considerando a AACPD, assim como no primeiro experimento (Tabela 4), foi possível separar as variedades em oito grupos no

segundo experimento. Apesar da semelhança entre os resultados, duas diferenças no agrupamento podem ser destacadas: a primeira é que as variedades RB855156 (280,71) e SP81-3250 (250,46), classificadas em níveis diferentes no primeiro experimento, não diferiram significativamente entre si no segundo experimento, e entraram juntas no quarto grupo; já as cultivares RB835054 (17,59) e RB935744 (7,76), que constituíram um único grupo no primeiro experimento, no segundo diferiram estatisticamente entre si e formaram o sexto e o sétimo grupo, respectivamente. A RB72454 (3401,31) e a SP89-1115 (3183,24) foram novamente as mais suscetíveis, seguidas da SP79-2233 (1785,86). A RB925211 (467,38) constituiu o terceiro grupo, e a RB92579 (172,37), o quinto. No oitavo e último nível, entraram as variedades de alta resistência à doença, que são: RB855453, RB855536, RB867515, RB966928, SP80-1842, SP80-3280, SP83-2847 e SP91-1049.

Considerando as curvas de progresso da doença, apresentadas na Figura 5, juntamente com os resultados da Tabela 5, pode-se relacionar a maior suscetibilidade da RB72454 e da SP89-1115 com o fato de terem sido as primeiras variedades a mostrarem evolução nos sintomas, além da doença ter atingido os maiores valores de severidade nessas duas cultivares. Já as variedades SP79-2233, RB925211 e SP81-3250 tiveram comportamentos semelhantes em relação ao início dos aumentos na epidemia; porém, por apresentar maiores níveis de severidade, a SP79-2233 teve também maior AACPD, sendo a mais suscetível das três, seguida da RB925211. A SP81-3250 mostrou resultados semelhantes a RB855156, mesmo com esta última tendo apresentado evolução mais tardia da doença. Na RB92579, observou-se aumento dos sintomas em período semelhante à RB855156; entretanto, a AACPD da RB92579 foi inferior.

Tabela 5 - Área abaixo da curva de progresso da doença e severidade máxima da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em julho de 2011

Variedades	AACPD <sup>(a)</sup>	Severidade Máxima (%) <sup>(b)</sup>
RB72454	3401,31 a <sup>(c)</sup>	49,88 a
SP89-1115	3183,24 a	52,50 a
SP79-2233	1785,86 b	37,95 b
RB925211	467,38 c	13,00 c
RB855156	280,71 d	5,50 d
SP81-3250	250,46 d	4,13 d
RB92579	172,37 e	4,85 d
RB835054	17,59 f	0,48 e
RB935744	7,76 g	0,28 e
RB855453	0,00 h	0,00 e
RB855536	0,00 h	0,00 e
RB867515	0,00 h	0,00 e
RB966928	0,00 h	0,00 e
SP80-1842	0,00 h	0,00 e
SP80-3280	0,00 h	0,00 e
SP83-2847	0,00 h	0,00 e
SP91-1049	0,00 h	0,00 e
Média Geral	562,75	9,91
CV (%)	7,92	17,91
Teste F	759,84**	134,28**

<sup>(a)</sup> Área abaixo da curva de progresso da doença; dados transformados em log (x+1).

<sup>(b)</sup> Porcentagem de área da folha +3 com sintomas; dados transformados em  $\sqrt{x + 0,5}$ .

<sup>(c)</sup> Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Skott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

As curvas de progresso da ferrugem alaranjada, referentes às 17 avaliações realizadas em cana-soca no segundo experimento, são mostradas na Figura 6. A RB72454 foi a primeira a mostrar evolução dos sintomas, o que ocorreu entre novembro e dezembro de 2012, seguida da SP89-1115, na qual a epidemia apresentou o primeiro incremento no início de janeiro de 2013. De meados ao final de janeiro, foram observados aumentos de severidade na SP79-2233 e, entre o final de janeiro e meados de fevereiro, houve evolução na SP81-3250 e na RB925211. Por último, em março, houve aumentos nos sintomas nas cultivares RB855156 e na RB92579.

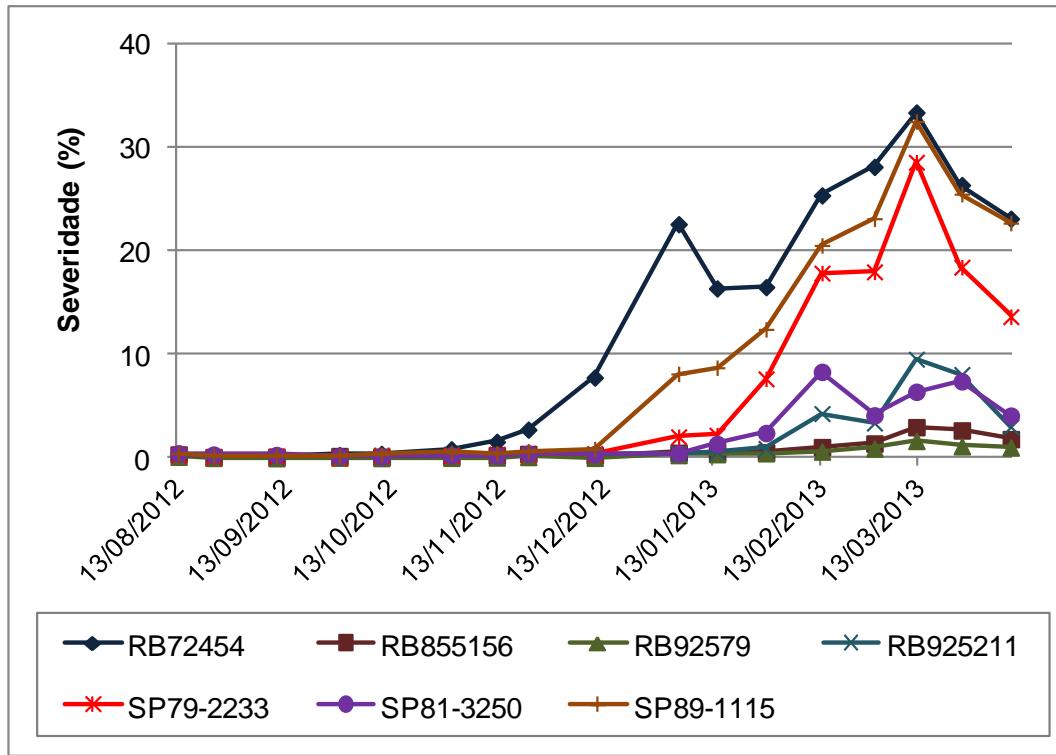


Figura 6 - Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento colhido em maio de 2012 e avaliado em cana-soca

Os resultados do ciclo de cana-soca do segundo experimento, apresentados na Tabela 6, mostram que, novamente, houve diferença significativa entre as variedades para as duas variáveis avaliadas, e que os coeficientes de variação foram de 7,45% e 18,79% para AACPD e severidade máxima, respectivamente.

Considerando a severidade máxima, ao analisar a Tabela 6, nota-se que as variedades foram separadas em cinco grupos, de acordo com o teste de Skott-Knott a 5% de significância, assim como no ciclo de cana-planta desse mesmo experimento (Tabela 5); entretanto, houve algumas alterações na composição dos grupos. A primeira foi a inclusão da SP79-2233 (30,38%) entre as que mostraram maiores severidades máximas, juntamente com a RB72454 (35,25%) e a SP89-1115 (32,50%). Outra alteração foi a inclusão da SP81-3250 (9,15%) no grupo da RB925211 (11,38%), uma vez que, nos dois experimentos avaliados em cana-planta, essas duas variedades foram colocadas em classes diferentes. A RB855156 (3,65%) constituiu o terceiro grupo, e a RB92579 (1,75%), o quarto. A quinta e última classe, assim como nas avaliações em cana-planta, foi formada pelas variedades RB835054 (0,40%), RB935744 (0,15%), RB855453, RB855536, RB867515, RB966928, SP80-1842, SP80-3280, SP83-2847 e SP91-1049, das quais apenas as

duas primeiras mostraram sintomas da doença, porém em baixos níveis de severidade.

Com relação à AACPD, considerando os dados mostrados na Tabela 6, nota-se que as cultivares se dividiram em nove grupos. Desta vez, as variedades RB72454 (2815,58) e SP89-1115 (2041,48) diferiram estatisticamente entre si e constituíram níveis de AACPD diferentes, com a primeira sendo mais suscetível à doença. Após a SP89-1115, a SP79-2233 (1438,69) constituiu um terceiro nível de suscetibilidade, seguida da SP81-3250 (500,68) e da RB925211 (436,11), que juntas formaram o quarto grupo. Vale ressaltar que, nas avaliações em cana-planta, a SP81-3250 e a RB925211 diferiram significativamente entre si para AACPD, o que não foi observado no ciclo de cana-soca. O quinto, sexto, sétimo e oitavo grupos foram formados, respectivamente, pelas cultivares RB855156 (178,57), RB92579 (94,70), RB835054 (17,75) e RB935744 (5,57). O último nível foi novamente constituído pelas variedades RB855453, RB855536, RB867515, RB966928, SP80-1842, SP80-3280, SP83-2847 e SP91-1049, todas com alta resistência à ferrugem alaranjada.

Tabela 6 - Área abaixo da curva de progresso da doença e severidade máxima da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento colhido em 2012 e avaliado em cana-soca

Variedades	AACPD <sup>(a)</sup>	Severidade Máxima (%) <sup>(b)</sup>
RB72454	2815,58 a <sup>(c)</sup>	35,25 a
SP89-1115	2041,48 b	32,50 a
SP79-2233	1438,69 c	30,38 a
SP81-3250	500,68 d	9,15 b
RB925211	436,11 d	11,38 b
RB855156	178,57 e	3,65 c
RB92579	94,70 f	1,75 d
RB835054	17,75 g	0,40 e
RB935744	5,57 h	0,15 e
RB855453	0,00 i	0,00 e
RB855536	0,00 i	0,00 e
RB867515	0,00 i	0,00 e
RB966928	0,00 i	0,00 e
SP80-1842	0,00 i	0,00 e
SP80-3280	0,00 i	0,00 e
SP83-2847	0,00 i	0,00 e
SP91-1049	0,00 i	0,00 e
Média Geral	442,89	7,33
CV (%)	7,45	18,79
Teste F	872,20**	104,64**

(a) Área abaixo da curva de progresso da doença; dados transformados em  $\log(x+1)$ .

(b) Porcentagem de área da folha +3 com sintomas; dados transformados em  $\sqrt{x + 0,5}$ .

(c) Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Skott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade.

As curvas de progresso da doença, apresentadas na Figura 6, e os resultados da Tabela 6, referentes às avaliações realizadas em cana-soca no segundo experimento mostram que, apesar da doença ter atingido nas variedades RB72454, SP89-1115 e SP79-2233 severidades máximas que não diferiram estatisticamente entre si, houve diferenças entre as cultivares considerando a AACPD; isto pode ser explicado pelo fato da doença ter iniciado sua evolução mais precocemente na RB72454, que foi a mais suscetível das três, seguida da SP89-1115, que apresentou incremento de severidade mais drástico em comparação à SP79-2233. Os comportamentos da RB925211 e da SP81-3250 foram muito semelhantes entre si, com maiores aumentos na manifestação dos sintomas ocorrendo em períodos

próximos e severidades máximas da doença que não diferiram significativamente entre si; assim, estas duas cultivares foram inseridas dentro de um mesmo grupo considerando a AACPD. Em relação às variedades RB855156 e RB92579, apesar das curvas de progresso terem apresentado evolução em períodos semelhantes, a AACPD da RB855156 foi superior, pois esta mostrou maior severidade máxima da doença.

Apesar das cultivares terem se diferenciado em relação à severidade máxima da ferrugem alaranjada, a AACPD se constitui no critério de diferenciação mais seguro, pois o seu cálculo leva em consideração várias observações ao longo do ciclo da cultura, permitindo uma avaliação mais estável e com menor interferência ambiental e do tempo de análise (CAMPBELL; MADDEN, 1990). A utilização da AACPD é muito comum para caracterizar a reação de cultivares de outras culturas em relação às ferrugens, como no patossistema soja x ferrugem asiática (SILVA et al., 2011; MILES et al., 2011) e nos patossistemas milho x ferrugem polissora e milho x ferrugem tropical (VON PINHO et al., 2001).

Das 17 variedades avaliadas neste estudo, oito mostraram alta resistência à ferrugem alaranjada: RB855453, RB855536, RB867515, RB966928, SP80-1842, SP80-3280, SP83-2847 e SP91-1049. Além destas, outras duas, RB835054 e RB935744, apresentaram bom nível de resistência à doença, mostrando sintomas em níveis de severidade sempre muito baixos. Em 2010, estas dez variedades ocupavam 51,5% da área cultivada nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (CHAPOLA et al., 2011).

Antes da introdução da ferrugem alaranjada no país, havia imensa preocupação no setor sucroenergético, uma vez que não se tinha certezas sobre a reação das cultivares mais importantes, em especial a RB867515, que em 2010 ocupava 22% da área de cana-de-açúcar em São Paulo e Mato Grosso do Sul, de acordo com Chapola et al. (2011). Apesar de ser obtida a partir de um cruzamento que envolveu a variedade RB72454 (HOFFMANN et al., 2008), suscetível à ferrugem alaranjada, a RB867515 se mostrou altamente resistente à doença. As cultivares mais suscetíveis, segundo os dados obtidos no presente trabalho, foram a RB72454 e a SP89-1115, que juntas representavam 6,2% das áreas de cultivo de São Paulo e Mato Grosso do Sul; em 2012, este porcentual já era de 2,2%, considerando apenas o estado de São Paulo (CHAPOLA et al., 2013), o que indica que estas cultivares já estão sendo substituídas nas áreas comerciais. A

suscetibilidade da RB72454 e da SP89-1115 à ferrugem alaranjada já havia sido citada por Barbasso et al. (2010), no primeiro relato da doença no Brasil.

Situação bem diferente a do Brasil foi vivenciada em outros países, como na Austrália, onde a ferrugem alaranjada atingiu níveis epidêmicos em áreas cultivadas com a variedade Q124, em Queensland, durante o ano 2000. Nesta região, a Q124 era cultivada em 45% da área canavieira, mas em algumas regiões esse porcentual chegava a 85%. Estimaram-se, na época, danos de até 40% na produtividade, em toneladas de colmos por hectare, além dos efeitos negativos na concentração de açúcar, ambos provocados pela doença. Devido a grande extensão de área cultivada com uma variedade suscetível, grande esforço foi necessário para atenuar os prejuízos causados pelo patógeno, uma vez que a substituição da Q124 por variedades resistentes não foi possível em apenas um ano (MAGAREY et al., 2001). Uma das medidas de controle utilizadas foi a aplicação de fungicidas, método usado pela primeira vez comercialmente na Austrália para combater uma doença foliar de cana-de-açúcar (STAIER; MAGAREY; WILLCOX, 2003; MAGAREY; STAIER; WILLCOX, 2002). Segundo Magarey (2010), a grande disponibilidade de variedades resistentes permitiu a rápida substituição das áreas cultivadas com a Q124, e atualmente a ferrugem alaranjada não causa impactos significativos na produção de cana-de-açúcar na Austrália.

Outro país que sofreu forte impacto com a introdução da ferrugem alaranjada foram os Estados Unidos; na Flórida, a doença foi detectada pela primeira vez em 2007, na variedade CP80-1743, que na época ocupava 22,8% das áreas cultivadas com cana-de-açúcar, chegando a 40% em alguns locais. As quedas de produtividade causadas pela doença foram estimadas em até 40%, dados similares aos obtidos na Austrália. Das seis variedades mais utilizadas na Flórida em 2009, duas são suscetíveis e outras duas moderadamente suscetíveis à ferrugem alaranjada, e as quatro ocupavam, juntas, 77,5% das áreas de cultivo. As outras duas cultivares são moderadamente resistentes à doença, porém, uma delas, a CP78-1628, é considerada suscetível à ferrugem marrom. Assim como na Austrália, houve necessidade de controlar a doença com fungicidas, pois a substituição das variedades suscetíveis não foi possível em curto prazo. Além disso, foram estabelecidas mudanças nas estratégias de cruzamento e seleção de genótipos, com o objetivo de aumentar a resistência à ferrugem alaranjada nas progêneres (COMSTOCK; GLYNN; DAVIDSON, 2010).

A Costa Rica foi mais um país onde a ferrugem alaranjada causou grandes prejuízos na sua introdução. A região Sul foi a mais afetada, onde a variedade SP71-5574, que se mostrou muito suscetível à doença, ocupava 97% da área cultivada. Danos de até 47% na produtividade foram relatados, e a substituição desta cultivar por variedades resistentes foi necessária (CHAVARRÍA; BARRANTES, 2009). Ainda em 2007, a ferrugem alaranjada ingressou na Guatemala, sendo observada pela primeira vez em um campo comercial da variedade CP72-2086. Entretanto, a cultivar mais afetada pela doença foi a SP79-2233, que chegou a apresentar níveis de sintomas próximos a 40% de severidade em experimentos (OVALLE et al., 2009), dado semelhante aos obtidos no presente trabalho nesta mesma variedade.

As variedades RB925211, SP81-3250, RB855156 e RB92579 tiveram reação intermediária à ferrugem alaranjada no presente trabalho. Das quatro, a RB925211 foi a que apresentou maior suscetibilidade à doença, sendo superior às demais tanto para severidade máxima como AACPD, exceto em cana-soca, quando não diferiu estatisticamente da SP81-3250. Apesar de ser a cultivar com maior suscetibilidade dentre as intermediárias, a RB925211 mostrou AACPD e severidade máxima sempre muito inferior às variedades suscetíveis à doença. A segunda maior suscetibilidade dentre as cultívares intermediárias foi observada na SP81-3250, que teve AACPD superior à RB855156 e à RB92579, exceto no experimento plantado em julho de 2011 e avaliado em cana-planta, quando não diferiu estatisticamente da RB855156. Com relação à severidade máxima, a SP81-3250 foi superior à RB855156 apenas em cana-soca, enquanto que, em comparação à RB92579, a SP81-3250 só não foi superior no ciclo de cana-planta do segundo experimento (plantio de julho de 2011). Por último, as duas variedades com menor suscetibilidade dentre as quatro de reação intermediária à ferrugem alaranjada foram a RB855156 e a RB92579, sendo que esta última mostrou maior resistência à doença, pois teve AACPD inferior nos dois experimentos e nos dois ciclos avaliados, e a severidade máxima apresentada só não diferiu da RB855156 em cana-planta no segundo experimento.

O cultivo de variedades intermediárias deve ser evitado em locais que reúnam condições favoráveis à ferrugem alaranjada, como as regiões nordeste e centro-leste do estado de São Paulo (SANTOS, 2013; MARTINS, 2010), principalmente as cultívares RB925211 e SP81-3250, que foram atacadas mais severamente pela

doença em comparação à RB855156 e à RB92579. Entretanto, havendo a disponibilidade de variedades com rendimento igual ou superior, mas resistentes à doença, recomenda-se seu cultivo independentemente da região considerada.

Dados sobre a reação das principais variedades cultivadas no Brasil à ferrugem alaranjada são escassos. Moreira et al. (2012), avaliando 13 cultivares em condições controladas de temperatura e fotoperíodo, e com inoculação artificial do patógeno, obtiveram como uma das variedades mais suscetíveis a SP89-1115. Em um grupo de reação intermediária, foram classificadas as cultivares RB925211, SP81-3250 e RB855156; já a RB867515 e a RB966928 foram colocadas no grupo com maior resistência à doença. Esta classificação corrobora os resultados obtidos no presente estudo.

Com o objetivo de avaliar a reação de 28 variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada em campo, Klosowsky (2012) avaliou a severidade da doença em cana-planta aos dez meses, e em cana-soca aos três, cinco, sete e nove meses, no município de Paranavaí, região norte do estado do Paraná. A partir dos dados de severidade das diferentes datas em cana-soca, calculou também a AACPD. Em cana-planta, a média de severidade chegou a 9,37% e, em cana-soca, 29,6%, aos nove meses de idade; estes valores foram muito inferiores aos obtidos no presente estudo, confirmando que o município de Araras reúne características favoráveis à manifestação da doença (SANTOS, 2013; MOREIRA, 2013). No trabalho de Klosowsky (2012), a RB72454 foi considerada a variedade mais suscetível à ferrugem alaranjada, com as demais cultivares sendo diferenciadas em cinco classes de suscetibilidade. A RB925211 foi classificada no quarto nível de suscetibilidade, a RB855156 no quinto e a RB835054 na última classe, que representou o menor nível de suscetibilidade à doença. Por outro lado, as cultivares RB855453, RB855536, RB867515, RB92579, RB935744 e RB966928 foram consideradas altamente resistentes à doença.

Os resultados obtidos por Klosowsky (2012) foram muito semelhantes aos obtidos no presente estudo, com algumas pequenas diferenças; a principal delas foi com relação à RB92579, que no presente trabalho teve reação intermediária à ferrugem alaranjada, enquanto que Klosowsky (2012) a classificou como resistente à doença. Uma possível explicação pode estar relacionada às diferenças entre as regiões onde os trabalhos foram realizados; outra explicação pode estar ligada ao número de avaliações, pois no presente estudo foram realizadas 16 observações em

cana-planta em um experimento e, no outro experimento, 12 observações em cana-planta e 17 em cana-soca, enquanto que, no trabalho de Klosowsky (2012), foram feitas cinco avaliações, sendo uma em cana-planta e quatro em cana-soca.

É possível observar, analisando-se os dados de cana-planta dos dois experimentos (Tabelas 4 e 5), que os níveis de severidade máxima e os valores de AACPD foram muito semelhantes. A Figura 7 mostra que durante as avaliações do primeiro experimento, realizadas de agosto de 2011 a abril de 2012, a temperatura média foi de 23,7°C e houve excedente hídrico de 458,5 mm, enquanto que durante as avaliações do segundo experimento, que se concentraram de novembro de 2011 a abril de 2012, a temperatura média foi de 24,2°C e houve excedente hídrico de 498,8 mm. Apesar dos experimentos terem sido plantados com três meses de diferença, ambos enfrentaram condições favoráveis à ferrugem alaranjada a partir de outubro de 2011, com a ocorrência de excedentes hídricos e de temperaturas médias superiores a 22°C; tais condições permaneceram até março de 2012, quando houve déficit hídrico.

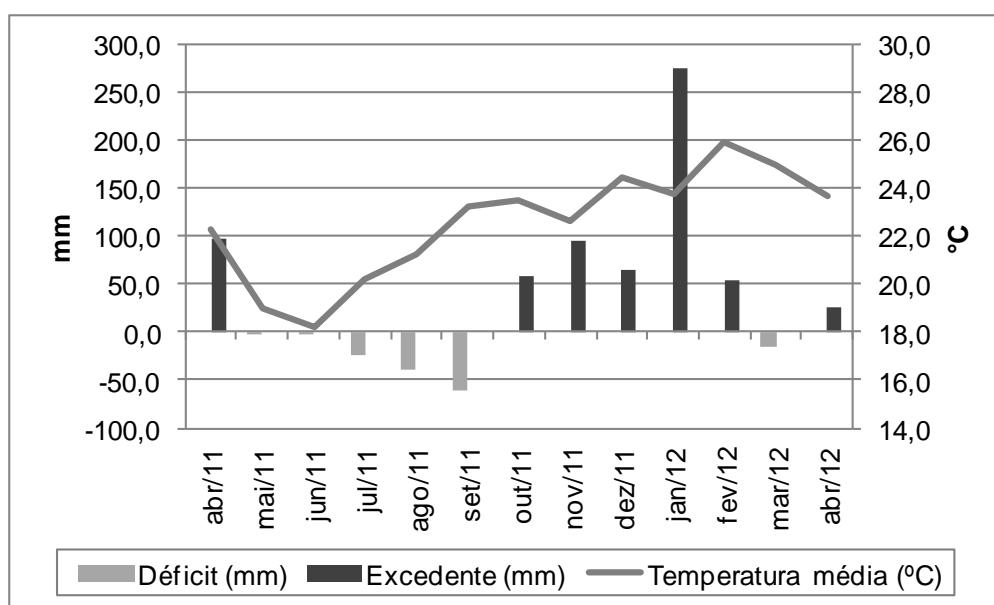


Figura 7 - Balanço hídrico e temperatura média de abril de 2011 a abril de 2012 no município de Araras, estado de São Paulo - Fonte: Dados climatológicos - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos. Disponível em <http://www.cca.ufscar.br/servicos/dados-climatologicos/>

Em contrapartida, é possível notar que os valores de severidade máxima e AACPD foram superiores nos dois experimentos avaliados em cana-planta (Tabelas 4 e 5) em relação ao experimento avaliado em cana-soca (Tabela 6). A Figura 8 mostra que durante as avaliações realizadas em cana-soca, entre agosto de 2012 e

abril de 2013, a temperatura média foi de 24,2°C e houve excedente hídrico de 219,6 mm. Isto significa que, comparado ao ciclo de cana-planta, houve aumento de 0,5°C na temperatura média e uma redução de 52,1% no excedente hídrico. Outra observação importante é que enquanto em cana-planta houve excedente hídrico a partir de outubro, em cana-soca isto só aconteceu em dezembro, ou seja, dois meses depois. Tal fato, aliado a menor disponibilidade hídrica durante o ciclo de cana-soca, provavelmente tenham sido determinantes para que os sintomas observados neste ciclo fossem menos intensos em relação à cana-planta.

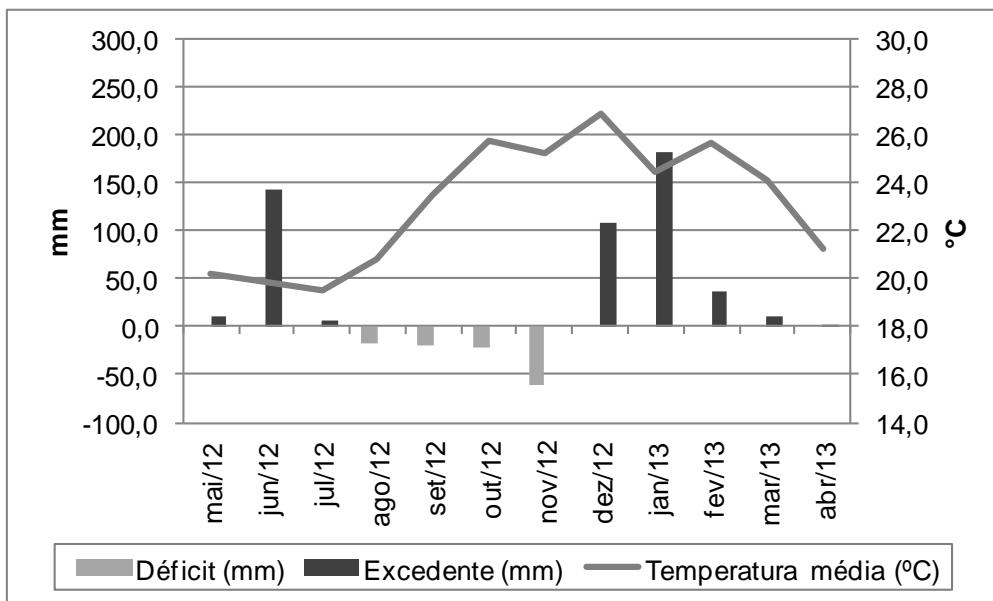


Figura 8 - Balanço hídrico e temperatura média de maio de 2012 a abril de 2013 no município de Araras, estado de São Paulo - Fonte: Dados climatológicos - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos. Disponível em <http://www.cca.ufscar.br/servicos/dados-climatologicos/>

Diversos trabalhos mostram que a temperatura e a umidade são fatores primordiais para a manifestação da ferrugem alaranjada. Magarey et al. (2004) estabeleceram que a germinação de urediniósporos de *P. kuehnii* exige umidade relativa acima de 97% e temperatura entre 17 e 24°C. Segundo Martins (2010), urediniósporos de *P. kuehnii* germinam na faixa de 10 a 25°C, mas o crescimento do tubo germinativo é mais rápido conforme a temperatura aumenta, com redução de crescimento a partir de 25°C; para que a infecção seja bem sucedida, o patógeno requer um mínimo de 8 h de molhamento foliar, porém a doença foi mais severa em períodos de molhamento superiores. Esta observação explica a maior severidade da doença no ciclo de cana-planta do presente trabalho, durante o qual houve maior disponibilidade hídrica em relação à cana-soca.

De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), o binômio “temperatura – duração do período de molhamento foliar (DPM)” condiciona o estabelecimento de patógenos. Apesar de fundamental para a compreensão de uma epidemia, a DPM é uma variável difícil de ser quantificada, exigindo a aquisição e instalação de sensores específicos. Uma alternativa é a utilização do excedente hídrico; segundo Santos (2013), a ocorrência de excedente hídrico indica um ambiente mais úmido, uma vez que nessas condições o armazenamento de água no solo é máximo, portanto a umidade do ar é mais elevada, já que a superfície é fonte de umidade para o ar.

### **2.3.1.2 Determinação da melhor época para avaliação da doença**

No experimento plantado em abril de 2011, as correlações entre a AACPD e as 16 avaliações de severidade foram significativas, com os valores do coeficiente de correlação variando de 0,64 (segunda avaliação) a 0,99 (décima segunda, décima quarta e décima quinta avaliações), como pode ser visto na Tabela 7. A partir da décima primeira avaliação, realizada no final de janeiro, até meados de abril, os coeficientes de correlação foram iguais ou superiores a 0,95; assim, pode-se estabelecer que nas condições deste experimento esta seria a melhor época para avaliar a reação das cultivares à ferrugem alaranjada.

Tabela 7 - Coeficientes de correlação entre a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e as avaliações de severidade da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em abril de 2011

Nº da avaliação	Avaliações	Coeficiente de correlação
1	AACPD x Avaliação 15/09/11	0,89**
2	AACPD x Avaliação 29/09/11	0,64**
3	AACPD x Avaliação 17/10/11	0,65**
4	AACPD x Avaliação 27/10/11	0,92**
5	AACPD x Avaliação 07/11/11	0,97**
6	AACPD x Avaliação 21/11/11	0,95**
7	AACPD x Avaliação 05/12/11	0,98**
8	AACPD x Avaliação 19/12/11	0,90**
9	AACPD x Avaliação 04/01/12	0,88**
10	AACPD x Avaliação 20/01/12	0,92**
11	AACPD x Avaliação 30/01/12	0,98**
12	AACPD x Avaliação 14/02/12	0,99**
13	AACPD x Avaliação 02/03/12	0,95**
14	AACPD x Avaliação 12/03/12	0,99**
15	AACPD x Avaliação 26/03/12	0,99**
16	AACPD x Avaliação 16/04/12	0,97**

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

No segundo experimento, plantado em julho de 2011, as correlações entre a AACPD e as 12 avaliações de severidade da doença foram significativas, assim como no primeiro experimento, com os valores do coeficiente de correlação variando de 0,76 (quarta avaliação) a 0,99 (nona, décima e décima primeira avaliações), como pode ser observado na Tabela 8. A partir da oitava avaliação, realizada no início de março, até o início de maio, os coeficientes de correlação foram iguais ou superiores a 0,95; dessa forma, nas condições deste experimento, esta seria a época mais indicada para avaliação de variedades de cana-de-açúcar em relação à ferrugem alaranjada.

Tabela 8 - Coeficientes de correlação entre a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e as avaliações de severidade da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento plantado em julho de 2011

Nº da avaliação	Avaliações	Coeficiente de correlação
1	AACPD x Avaliação 25/11/11	0,97**
2	AACPD x Avaliação 13/12/11	0,97**
3	AACPD x Avaliação 21/12/11	0,88**
4	AACPD x Avaliação 05/01/12	0,76**
5	AACPD x Avaliação 23/01/12	0,82**
6	AACPD x Avaliação 02/02/12	0,87**
7	AACPD x Avaliação 16/02/12	0,94**
8	AACPD x Avaliação 08/03/12	0,97**
9	AACPD x Avaliação 20/03/12	0,99**
10	AACPD x Avaliação 02/04/12	0,99**
11	AACPD x Avaliação 18/04/12	0,99**
12	AACPD x Avaliação 09/05/12	0,96**

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Considerando o ciclo de cana-soca do segundo experimento, as correlações entre a AACPD e as 17 avaliações de severidade da doença foram significativas, assim como nas análises em cana-planta, com os valores do coeficiente de correlação variando de 0,62 (segunda avaliação) a 0,99 (décima segunda, décima terceira, décima quarta e décima sétima avaliações), como mostra a Tabela 9. A partir da décima segunda avaliação, realizada no final de janeiro, até o início de abril, os coeficientes de correlação foram iguais ou superiores a 0,95; portanto, considera-se esta época como a melhor para classificar a reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada, nas condições do presente experimento.

Tabela 9 - Coeficientes de correlação entre a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e as avaliações de severidade da ferrugem alaranjada em 17 variedades de cana-de-açúcar no campo - Experimento colhido em maio de 2012 e avaliado em cana-soca

Nº da avaliação	Avaliações	Coeficiente de correlação
1	AACPD x Avaliação 13/08/12	0,73**
2	AACPD x Avaliação 23/08/12	0,62**
3	AACPD x Avaliação 10/09/12	0,74**
4	AACPD x Avaliação 28/09/12	0,74**
5	AACPD x Avaliação 10/10/12	0,89**
6	AACPD x Avaliação 30/10/12	0,93**
7	AACPD x Avaliação 12/11/12	0,92**
8	AACPD x Avaliação 21/11/12	0,88**
9	AACPD x Avaliação 10/12/12	0,81**
10	AACPD x Avaliação 03/01/13	0,90**
11	AACPD x Avaliação 14/01/13	0,94**
12	AACPD x Avaliação 28/01/13	0,99**
13	AACPD x Avaliação 13/02/13	0,99**
14	AACPD x Avaliação 28/02/13	0,99**
15	AACPD x Avaliação 12/03/13	0,97**
16	AACPD x Avaliação 25/03/12	0,98**
17	AACPD x Avaliação 08/04/13	0,99**

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Segundo Klosowsky (2012), apesar da AACPD ser o melhor critério de diferenciação de variedades em relação à ferrugem alaranjada, deve-se considerar que, para sua obtenção, um período de tempo relativamente longo de avaliações é necessário. Em seu experimento, realizado em Paranavaí, estado do Paraná, a avaliação em cana-soca aos nove meses, que ocorreu em maio, teve a melhor correlação com a AACPD.

No presente trabalho, levando-se em consideração os resultados obtidos nas três situações estudadas (plantio em abril, plantio em julho e cana-soca), o mês de março é o mais indicado para avaliar a reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada nas condições de plantios do estado de São Paulo, pois foi o período que concentrou as melhores correlações com a AACPD, sempre iguais ou superiores a 0,95. Esta observação é muito útil para os programas de melhoramento genético, uma vez que avaliações realizadas neste período refletirão melhor a reação dos genótipos à ferrugem alaranjada, além de evitar desperdícios de tempo e mão de obra em avaliações que não indicarão com segurança o real comportamento

dos genótipos frente à doença. Em outras palavras, nas condições do presente estudo, uma ou poucas avaliações realizadas em março seriam suficientes para determinar com boa precisão a reação de cultivares à ferrugem alaranjada.

### **2.3.2 Experimento em casa de vegetação**

As variedades estudadas em casa de vegetação e suas respectivas reações à ferrugem alaranjada com base nos resultados dos experimentos de campo foram: RB72454 e SP89-1115 (suscetíveis); SP81-3250 e RB855156 (intermediárias); RB935744 e RB966928 (resistentes). Os primeiros sintomas da ferrugem alaranjada apareceram aos 15 dias após a inoculação do patógeno, na forma de pontuações cloróticas, conhecidas como lesões “flecks”. Nos dias seguintes, as lesões tornaram-se maiores e mais escuras e, aos 18 dias, as primeiras pústulas mostraram reprodução evidente.

Os resultados da Tabela 10 mostram que houve diferenças significativas entre as cultivares para as quatro variáveis avaliadas. Os coeficientes de variação foram de 4,03%, 2,64%, 23,35% e 26,87% para o período de incubação, período de latência, número de pústulas por cm<sup>2</sup> e severidade, respectivamente.

Os menores períodos de incubação e de latência foram observados na RB72454, ou seja, esta foi a primeira variedade a mostrar sintomas e lesões com urediniósporos. Depois, observaram-se sintomas e lesões contendo urediniósporos nas cultivares SP89-1115, SP81-3250 e, por último, na RB855156. As variedades RB935744 e RB966928 não apresentaram sintomas da ferrugem alaranjada durante a condução desse experimento. Considerando o período de incubação, houve diferença significativa apenas entre a RB72454 e a RB855156; já para o período de latência, a RB855156 foi estatisticamente superior às demais cultivares, indicando que é a variedade mais resistente dentre as que apresentaram sintomas (Tabela 10).

Tabela 10 - Períodos de incubação e latência, número de pústulas por  $\text{cm}^2$  e severidade da ferrugem alaranjada em seis variedades de cana-de-açúcar inoculadas artificialmente com *Puccinia kuehnii* - Experimento em casa de vegetação

Variedades	Incubação	Latência	Nº pústulas $\text{cm}^{-2}$ <sup>(a)</sup>	Severidade (%) <sup>(b)</sup>
RB72454	15,25 b <sup>(c)</sup>	18,75 b	12,75 a	6,75 a
RB855156	16,75 a	21,50 a	5,75 b	2,80 ab
RB935744	s. d. <sup>(d)</sup>	s. d.	0,00 c	0,00 b
RB966928	s. d.	s. d.	0,00 c	0,00 b
SP81-3250	16,25 ab	19,75 b	9,00 ab	5,19 a
SP89-1115	15,75 ab	18,75 b	9,00 ab	6,60 a
Média Geral	16,00	19,69	6,08	3,56
CV (%)	4,03	2,64	23,35	26,87
Teste F	4,00*	24,85**	23,33**	14,16**

<sup>(a)</sup> Dados transformados em  $\sqrt{x + 0,5}$ .

<sup>(b)</sup> Porcentagem de área foliar com sintomas; dados transformados em  $\sqrt{x + 0,5}$ .

<sup>(c)</sup> Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>(d)</sup> Sem dados.

\* Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade.

Os períodos de incubação obtidos variaram de 15 a 17 dias, enquanto que os de latência variaram de 18 a 22 dias, valores superiores aos obtidos por Moreira (2013), Klosowsky (2012) e Martins (2010). Entretanto, deve-se destacar que durante a condução do presente trabalho temperaturas muito baixas foram registradas, especialmente do período entre o oitavo e o décimo segundo dia após a inoculação, como pode ser visto na Tabela 11. Segundo Martins (2010), urediniósporos de *P. kuehnii* germinam na faixa de 10 a 25°C, com a menor taxa de germinação ocorrendo aos 10°C. No presente estudo, dos 15 dias transcorridos desde a inoculação do patógeno até o aparecimento dos primeiros sintomas, nota-se que em 10 deles a temperatura mínima registrada foi inferior a 10°C, e em quatro a temperatura máxima registrada não passou dos 20°C, o que provavelmente interferiu diretamente na germinação e desenvolvimento inicial do patógeno.

Tabela 11 - Temperaturas máximas, mínimas e médias ocorridas no município de Piracicaba, estado de São Paulo, no período de 16/7/2013 a 2/8/2013

Dias após a inoculação	Data	Temperatura (°C) <sup>(a)</sup>		
		Máxima	Mínima	Média
0	16/7	23,1	13,1	18,1
1	17/7	26,1	9,7	17,9
2	18/7	28,8	9,2	19,0
3	19/7	31,0	12,3	21,7
4	20/7	31,9	16,0	24,0
5	21/7	31,3	20,0	25,7
6	22/7	24,0	18,8	21,4
7	23/7	14,9	14,0	14,5
8	24/7	13,0	7,2	10,1
9	25/7	13,2	8,5	10,9
10	26/7	19,5	5,7	12,6
11	27/7	25,4	6,9	16,2
12	28/7	24,5	6,6	15,6
13	29/7	25,0	9,3	17,2
14	30/7	27,5	5,7	16,6
15	31/7	28,5	7,8	18,2

<sup>(a)</sup> Fonte: Base de dados do posto agrometeorológico LEB – ESALQ – USP – Piracicaba, SP - Brasil. Disponível em <http://www.leb.esalq.usp.br/anos.html>

Gómez (2013), estudando parâmetros monocíclicos da ferrugem alaranjada, obteve a 25°C períodos de incubação de nove e 11 dias nas variedades SP89-1115 e RB855156, respectivamente. Já os períodos de latência foram de 11 dias na SP89-1115 e de 13 a 14 dias na RB855156. A 18°C, os períodos de incubação foram de 18 e 21 dias na SP89-1115 e na RB855156, respectivamente, e os períodos de latência foram de 20 dias na SP89-1115 e de 24 dias na RB855156. Estes dados mostram a influência da temperatura no desenvolvimento inicial da doença, e corroboram os resultados obtidos no presente trabalho.

Poucas diferenças entre as cultivares foram detectadas para o período de incubação, fato semelhante ao observado por Moreira (2013); em seu trabalho, o período de incubação não permitiu uma distinção clara do grau de resistência das variedades à *P. kuehnii*. Para o período de latência, as diferenças foram pouco mais pronunciadas, apontando para uma maior resistência da RB855156 em relação às cultivares RB72454, SP89-1115 e SP81-3250. Da mesma forma, Moreira (2013) encontrou maiores diferenças entre as variedades nas avaliações de latência,

indicando que esta variável é um componente de resistência fortemente expresso nas variedades mais resistentes.

A contagem de pústulas presentes nas folhas determinou a RB72454 como a variedade com maior número de pústulas por  $\text{cm}^2$ , seguida da SP89-1115 e da SP81-3250; porém, como pode ser visto na Tabela 10, não foram detectadas diferenças significativas entre estas três variedades. A RB855156 mostrou número de pústulas inferior estatisticamente ao da RB72454, porém não diferiu da SP89-1115 e da SP81-3250. Já nas folhas das cultivares RB935744 e RB966928 não foram observadas pústulas durante a condução do experimento. A Figura 9 mostra segmentos de folhas das seis variedades antes da contagem de pústulas e da avaliação de severidade.

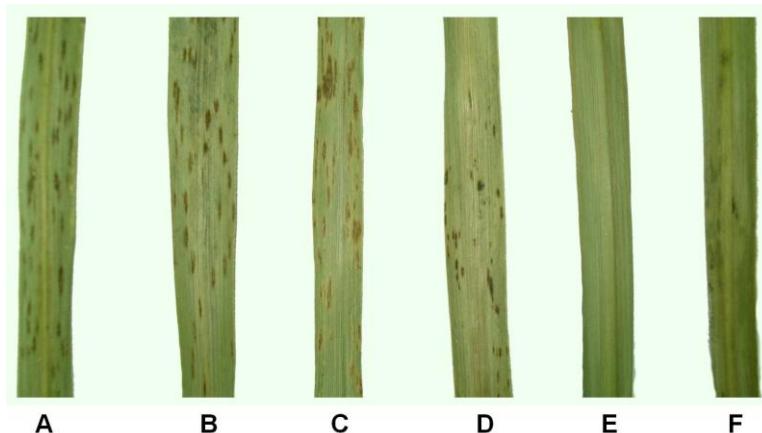


Figura 9 - Folhas de cana-de-açúcar com sintomas de ferrugem alaranjada (A a D) e sadias (E e F): A - RB72454; B - SP89-1115; C - SP81-3250; D - RB855156; E - RB966928; F - RB935744

Para a variável severidade, ainda na Tabela 10, as cultivares RB72454, SP89-1115 e SP81-3250 apresentaram, nesta ordem, as maiores porcentagens de área foliar afetada pela doença; no entanto, não foram detectadas diferenças significativas entre elas. Por outro lado, as cultivares RB935744 e RB966928 não foram afetadas pelo patógeno e, portanto, diferiram estatisticamente das variedades RB72454, SP89-1115 e SP81-3250. A RB855156 teve um comportamento intermediário para esta variável, não diferindo das variedades resistentes e nem das variedades com alguma suscetibilidade.

A Tabela 12 mostra que houve correlação significativa entre as variáveis avaliadas no experimento em casa de vegetação para todas as combinações possíveis. Tal constatação é importante, pois indica que ao se escolher qualquer uma destas quatro variáveis para classificar a reação de uma variedade à ferrugem

alaranjada, é possível inferir sobre as outras três variáveis não selecionadas. Por exemplo, uma cultivar com períodos de incubação e latência curtos muito provavelmente apresentará número de pústulas por  $\text{cm}^2$  e severidade superiores em relação a uma cultivar com períodos de incubação e latência longos, pois as correlações entre tais variáveis são altas e negativas. Da mesma forma, variedades com mais pústulas por  $\text{cm}^2$  tendem a apresentar maiores níveis de severidade da doença, e cultivares com períodos de incubação mais curtos também deverão mostrar períodos de latência mais curtos, uma vez que as correlações entre essas variáveis são altas e positivas.

Tabela 12 - Coeficientes de correlação entre quatro variáveis determinadas em seis variedades de cana-de-açúcar com diferentes reações à ferrugem alaranjada e inoculadas artificialmente com *Puccinia kuehnii* - Experimento em casa de vegetação

Correlação	Coeficiente de correlação
Período de incubação x Período de latência	0,99**
Período de incubação x Pústulas $\text{cm}^{-2}$	-0,84**
Período de incubação x Severidade <sup>(a)</sup>	-0,75**
Período de latência x Pústulas $\text{cm}^{-2}$	-0,84**
Período de latência x Severidade	-0,76**
Pústulas $\text{cm}^{-2}$ x Severidade	0,80**

<sup>(a)</sup> Porcentagem de área foliar com sintomas.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Analizando-se os resultados obtidos em casa de vegetação, as variedades RB72454, SP89-1115 e SP81-3250 foram as de maior suscetibilidade à ferrugem alaranjada, não diferindo estatisticamente entre si para as variáveis analisadas neste estudo. Em seguida, viria a RB855156, com uma reação intermediária entre as mais suscetíveis e as mais resistentes; apesar de não apresentar diferença significativa em relação às variedades suscetíveis para o período de incubação, a RB855156 mostrou maior período de latência, menor número de pústulas em comparação à RB72454 e severidade intermediária entre as suscetíveis e resistentes. Por último, as variedades RB935744 e RB966928 foram altamente resistentes à doença, não apresentando sintomas durante a condução do experimento.

Cabe salientar que por ser uma doença policíclica, a ferrugem alaranjada é capaz de completar inúmeros ciclos durante o ciclo da cultura. Segundo Kranz (2002), para doenças policíclicas, quanto mais ciclos secundários o patógeno completar em um ciclo do hospedeiro, maior será a quantidade de inóculo produzida

e maior também será a intensidade da doença. Em casa de vegetação, um ou poucos ciclos da doença se completaram durante a condução do experimento, de maneira que o número de ciclos possivelmente não tenha sido suficiente para que o teste estatístico utilizado detectasse mais diferenças entre as cultivares. Em outras palavras, caso as avaliações fossem prolongadas por mais tempo, a doença completaria mais ciclos e é provável que o teste estatístico encontrasse mais diferenças entre as cultivares para número de pústulas e severidade, possibilitando a separação mais precisa das variedades de reação intermediária à doença, como a SP81-3250 e a RB855156, das variedades suscetíveis, como a RB72454 e a SP89-1115.

Comparando-se os resultados do experimento em casa de vegetação com os dados obtidos em campo, é possível notar grande semelhança em relação à classificação das cultivares resistentes, como a RB935744 e a RB966928, e das cultivares suscetíveis à doença, ou seja, a RB72454 e a SP89-1115. Para as variedades intermediárias, como a SP81-3250 e a RB855156, um maior período de avaliações em casa de vegetação seria necessário para separá-las das variedades suscetíveis à doença. Assim, pode-se dizer que o método empregado neste estudo para analisar a reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada em casa de vegetação, com inoculação artificial do patógeno, tem potencial para ser utilizado como uma ferramenta de seleção rápida de cultivares com alta resistência à doença no campo, pois permitiu uma clara distinção das variedades resistentes dentro do grupo de cultivares analisado, além de ser vantajoso em termos de economia de espaço e de mão de obra, e de ser facilmente executado.



### 3 CONCLUSÕES

- As variedades RB72454, SP89-1115 e SP79-2233 são suscetíveis à ferrugem alaranjada, e o cultivo comercial das mesmas não é recomendado;
- As cultivares RB835054, RB855453, RB855536, RB867515, RB935744, RB966928, SP80-1842, SP80-3280, SP83-2847 e SP91-1049 são resistentes à doença;
- O cultivo de variedades intermediárias deve ser evitado em locais que reúnam condições favoráveis à ferrugem alaranjada, principalmente as cultivares RB925211 e SP81-3250, nas quais a ferrugem alaranjada atingiu níveis superiores de severidade aos observados nas variedades RB855156 e RB92579;
- Nas condições do presente estudo, uma ou poucas avaliações realizadas em março são suficientes para determinar a reação de cultivares de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada;
- O método aplicado em casa de vegetação, com inoculação artificial do patógeno, tem potencial para selecionar, em poucos dias, cultivares com alta resistência à ferrugem alaranjada no campo, além de proporcionar economia de espaço, mão de obra e de ser facilmente executado.



## REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. **Plant pathology**. 5<sup>th</sup> ed. London: Elsevier Science, 2005. 922p.
- AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 8 mai. 2013.
- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Fenologia, patometria e quantificação de danos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 4 ed. v1:princípios e conceitos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 517-542.
- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; SANGUINO, A.; CARDOSO, C.O.N.; MORAES, V.A.; FERNANDES, C.R. Metodologia de avaliação de ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocaphala*). **Boletim Técnico Copersucar**: São Paulo, v. 39, p. 13-16, 1987.
- ANJOS, I.A.; FIGUEIREDO, P.A.M. Aspectos fitotécnicos do plantio. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p. 585-597.
- BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; BRESSIANI, J.; SANGUINO, A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 94, n. 9, p. 1170, 2010.
- BRAITHWAITE, K.S.; CROFT, B.J.; MAGAREY, R.; SCHARASCHKIN, T. Phylogenetic placement of the sugarcane orange rust pathogen *Puccinia kuehnii* in a historical and regional context. **Australasian Plant Pathology**, Perth, v. 39, p. 380-388, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia** 2012. Brasília, 2013. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/anuario\\_agroenergia\\_web\\_2012.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/anuario_agroenergia_web_2012.pdf)>. Acesso em: 2 mai. 2013.
- CADAVID, M.; ANGEL, J.C.; VICTORIA, J.I. First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Colombia. **Plant Disease**, Saint Paul, n. 1, p. 143, 2012.
- CAMARGO, L.E.A. Controle genético. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 4 ed. v1:princípios e conceitos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 325-341.
- CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: Wiley-Interscience, 1990. 532p.
- CHAPOLA, R.G.; HOFFMANN, H.P.; BASSINELLO, A.I.; FERNANDES JÚNIOR, A.R.; VIEIRA, M.A.S. Censo varietal 2010 de cana-de-açúcar nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. **STAB**, Piracicaba, v. 29, n. 3, p. 42-45, 2011.

CHAPOLA, R.G.; HOFFMANN, H.P.; CURSI, D.E.; FERNANDES JÚNIOR, A.R.; MANIERO, M.A. Substitution rate of susceptible varieties to sugarcane orange rust in São Paulo state and influence of weather conditions on increasing disease severity in 2012. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 28., 2013. São Paulo, **Proceedings...** São Paulo: ISSCT, v. 28, 2013. 3p.

CHAVARRÍA, E.; BARRANTES, J. Situación de la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) en Costa Rica: 2007-2009. In: CONGRESSO AZUCARERO ATACORI, 17., 2009. San José. **Memorias...** San José: ATACORI, 2009. v. 17, 15p.

CHAVARRÍA, E.; BARRANTES, J.; CORRALES, M.; CHAVES, L.; FONSECA, C.; MURILLO, J.P.; NARANJO, P.; SOLÍS, V.; VALVERDE, W. Combate químico de la roya naranja. In: CONGRESSO AZUCARERO ATACORI, 17., 2009. San José. **Memorias...** San José: ATACORI, 2009a. v. 17, 30p.

CHAVARRÍA, E.; SUBIROS, F.; VEGA, J.; RALDA, G.; GLYNN, N.C.; COMSTOCK, J.C.; CASTLEBURY, L.A. First report of orange rust caused by *Puccinia kuehnii* in Costa Rica and Nicaragua. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 93, n. 4, p. 325, 2009b.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; ABREU, H.M.C.; ARRUDA, P.; BESPALHOK FILHO, J.C.; BURNQUIST, W.L.; CRESTE, S.; DI CIERO, L.; FERRO, J.A.; FIGUEIRA, A.V.O.; FILGUEIRAS, T.S.; GROSSI-DE-SÁ, M.F.; GUZZO, E.C.; HOFFMANN, H.P.; LANDELL, M.G.A.; MACEDO, N.; MATSUOKA, S.; REINACH, F.C.; ROMANO, E.; SILVA, W.J.; SILVA FILHO, M.C.; ULIAN, E.C. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, New York, v. 4, n. 1, p. 62-89, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: cana-de-açúcar, safra 2013/2014, primeiro levantamento, abril de 2013. Brasília, 2013. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_04\\_09\\_10\\_29\\_31\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_abril\\_2013\\_1o\\_lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_29_31_boletim_cana_portugues_abril_2013_1o_lev.pdf)>. Acesso em: 02 maio 2013.

COMSTOCK, J.C.; GLYNN, N.C.; DAVIDSON, R.W. Sugarcane rusts in Florida. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 27., 2010. Veracruz. **Proceedings...** Veracruz: ISSCT, v. 27, 2010. 9p.

COMSTOCK, J.C.; SOOD, S.G.; GLYNN, N.C.; SHINE Jr., J.M.; MCKEMY, J.M.; CASTLEBURY, L.A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in the United States and Western Hemisphere. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 92, n. 1, p. 175, 2008.

DOORENBOS, J.; KASSAM,, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994, 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

FERRARI, J.T.; HARAKAVA, R.; DOMINGUES, R.J.; TERÇARIOL, I.M.L. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Biológico, 2010. 8p. (Documento Técnico, 5).

FLORES, R.C.; LOYO, J.R.; OJEDA, R.A.; RANGEL, O.C.A; CÉRON, 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**, Saint Paul, v. 93, n. 12, p. 1347, 2009.

GLYNN, N.C.; DIXON, L.J.; CASTLEBURY, L.A.; SZABO, L.J.; COMSTOCK, J.C. PCR assays for the sugarcane rust pathogens *Puccinia kuehnii* and *P. melanocephala* and detection of a SNP associated with geographical distribution in *P. kuehnii*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 59, p. 703-711, 2010.

GÓMEZ, S.G.P. **Quantificação de parâmetros monocíclicos da ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*) em cana-de-açúcar**. 2013. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

GRISHAM, M.P.; HOY, J.W.; HAUDENSHIELD, J.S.; HARTMAN, G.L. First report of orange rust caused by *Puccinia kuehnii* in sugarcane in Louisiana. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 97, n. 3, p. 426, 2013.

HOFFMANN, H.P.; SANTOS, E.G.D.; BASSINELLO, A.I.; VIEIRA, M.A.S. **Variedades RB de cana-de-açúcar**. Araras: UFSCar, CCA, 2008. 28p.

INDEX FUNGORUM. *Puccinia kuehnii*. 2013. Disponível em: <<http://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=243512>>. Acesso em: 3 mai. 2013.

INFANTE, D.; MARTINEZ, B.; GONZALEZ, B.; GONZALEZ, N. *Puccinia kuehnii* (Kruger) Butler y *Puccinia melanocephala* H. Sydow y P. Sydow en el cultivo de la caña de azúcar. **Revista Protección Vegetal**, La Habana, v. 24, n. 1, p. 22-28, 2009.

KLOSOWSKY, A.C. **Escala diagramática, segregação da resistência em progêneres de cana-de-açúcar e reação de cultivares à ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*)**. 2012. 72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

KLOSOWSKY, A.C.; RUARO, L.; BESPALHOK FILHO, J.C.; DE MIO, L.L.M. Proposta e validação de escala para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 166-171, 2013.

KRANZ, J. The infection cycle or chain. In: \_\_\_\_\_. **Comparative epidemiology of plant diseases**. Berlin: Springer, 2002. chap. 4, p. 49-92.

MAFFIA, L.A.; MIZUBUTI, E.S.G.; ALFENAS, A.C.; MAFIA, R.G. Quantificação de doenças em planta. In: ALFENAS, A.C.; MAFIA, R.G. (Ed.). **Métodos em fitopatologia**. Viçosa: UFV, 2007. p. 161-173.

MAGAREY, R.C. Orange rust disease of sugarcane. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 27., 2010. Veracruz. **Proceedings...** Veracruz: ISSCT, v. 27, 2010. 9p.

MAGAREY, R.C. Orange rust. In: ROTT, P.; BAILEY, R.A.; COMSTOCK, J.C.; CROFT, B.J.; SAUMTALLY, A.S. (Ed.). **A guide to sugarcane diseases.** Montpellier: CIRAD; ISSCT, 2000. p. 121-125.

MAGAREY, R.C.; NEILSEN, W.A.; BULL, J.I. The effect of orange rust on sugarcane yield in breeding selection trials in Central Queensland: 1999-2001. In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 2004. Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: Pk Editorial Services, 2004. v. 26. 6p.

MAGAREY, R.C.; NEILSEN, W.A.; MAGNANI, J.A. Environmental requirements for spore germination in three sugarcane leaf pathogens. In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 2004. Brisbane, **Proceedings...** Brisbane: Pk Editorial Services, 2004. v. 26. 7p.

MAGAREY, R.C.; STAIER, T.; WILLCOX, T. Fungicides for control of orange rust in the 2001 Queensland crop. In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 2002. Brisbane, **Proceedings...** Brisbane: Pk Editorial Services, 2002. v. 24. p. 269-274.

MAGAREY, R.C.; WILLCOX, T.; CROFT, B.J.; CORDINGLY, A. Orange rust, a major pathogen affecting crops of Q124 in Queensland in 2000. In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 2001. Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: Pk Editorial Services, 2001. v. 23. p. 274-280.

MARTINS, T.D. **Aspectos epidemiológicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.** 2010. 65p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MATSUOKA, S.; FERRO, J.; ARRUDA, P. The Brazilian experience of sugarcane ethanol industry. **In Vitro Cellular and Development Biology – Plant**, Raleigh, v. 45, n. 3, p. 372-381, 2009.

MOREIRA, A.S. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil:** estudo de populações do patógeno e comportamento varietal. 2013. 87p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

MOREIRA, A.S.; GONÇALVES, C.R.; RICCI, A.; BERGAMIN FILHO, A. Reaction of thirteen sugarcane varieties to orange rust, caused by *Puccinia kuehnii*. In: AMERICAN PHYTOPATHOLOGY SOCIETY ANNUAL MEETING, 2012. Providence, **Phytopathology**, Saint Paul, v. 102 (supplement 4), n. 7, 2012. p. 82.

MILES, M.R.; BONDE, M.R.; NESTER, S.E.; BERNER, D.K.; FREDERICK, R.D.; HARTMAN, G.L. Characterizing resistance to *Phakopsora pachyrhizi* in soybean. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 95, n. 5, p. 577-581, 2011.

MINCHIO, C.A.; CANTERI, M.G.; ROCHA, J.A. Germinação de uredósporos *Puccinia kuehnii* submetidos a diferentes temperaturas e tempos de incubação. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 37, n. 4, p. 211-214, 2011.

NEUBAUER, R.A.; SANCHES, P.R.B.; GILIO, T.A.S.; FAGUNDES, C.; BASSAN, B.E.; RODERO, D.P.; RODERO, D.C.P.; ARAÚJO, K.L.; GIGLIOTTI, E.A.; CANTERI, M.G. Mapeamento espaço-temporal de zonas de risco para ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 44., 2011. Bento Gonçalves, RS. **Tropical Plant Pathology**, Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, v. 36 (suplemento), 2011. p. 1528.

OVALLE, W.; COMSTOCK, J.C.; GLYNN, N.C.; CASTLEBURY, L.A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Guatemala. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 92, n. 6, p. 973, 2008.

OVALLE, W.; OROZCO, H.; FONG, E.; GARCIA, S. The effect of orange rust (*Puccinia kuehnii*) on sugar yield in six sugarcane varieties in Guatemala. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 27., 2010. Veracruz. **Proceedings...** Veracruz: ISSCT, v. 27, 2010. 9p.

OVALLE, W.; OROZCO, H.; QUEMÉ, J.; MELGAR, M.; GARCÍA, S. La roya naranja em Guatemala y estrategias para su manejo. **Sugar Journal**, New Orleans, v. 72, n. 3, p. 18-23, 2009.

PEIXOTO JÚNIOR, R.F. **Desenvolvimento e caracterização de marcadores microsatélites para *Puccinia melanocephala*, agente causador da ferrugem marrom em cana-de-açúcar**. 2011. 66p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

RAID, R.N.; COMSTOCK, J.C.; GLYNN, N.C. Orange rust of sugarcane: prospects for fungicidal control. In: AMERICAN PHYTOPATHOLOGY SOCIETY CARIBBEAN DIVISION MEETING, 2009. Orlando, **Phytopathology**, Saint Paul, v. 100, n. 6 (supplement), 2010. p. 175.

\_\_\_\_\_. Yield loss incited by orange rust (*Puccinia kuehnii*) on a highly susceptible cultivar in Florida. **Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists**, Baton Rouge, v. 31, n. 1, p. 66-67, 2011.

RYAN, C.C.; EGAN, B.T. Rust. In: RICAUD, C.; EGAN, B.T.; GILLASPIE Jr., A.G.; HUGHES, C.G. (Ed.). **Diseases of sugarcane: major diseases**. Amsterdam: Elsevier Science, 1989. p. 189-210.

SAITO, E.A.; IMAI, N.N.; TOMMASELLI, A.M.G. Análise do comportamento espectral de amostras de cana-de-açúcar infectadas com ferrugem alaranjada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013. Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, v. 16, 2013. p. 258-265.

SANTOS, D.L. **Zoneamento da favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nas principais regiões produtoras do Brasil e da Austrália.** 2013. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

SAUMTALLY, A.S.; VIREMOUNEIX, T.R.; AHONDOKPÉ, B.; GIRARD, J-C.R.; CASTLEBURY, L.A.; DIXON, L.; GLYNN, N.C.; COMSTOCK, J.C. First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Ivory Coast and Cameroon. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 95, n. 3, p. 357, 2011.

SILVA, J.V.C.; JULIATTI, F.C.; SILVA, J.R.V.; BARROS, F.C. Soybean cultivar performance in the presence of soybean Asian rust, in relation to chemical control programs. **European Journal of Plant Pathology**, Wageningen, v. 131, n. 3, p. 409-418, 2011.

STAIER, T.; MAGAREY, R.; WILLCOX, T. Control of orange rust in sugarcane with fungicides. In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 2003. Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: Pk Editorial Services, 2003. v. 25. 6p.

SOOD, S.G.; COMSTOCK, J.C.; GLYNN, N.C. Leaf whorl inoculation method for screening sugarcane rust resistance. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 93, n. 12, p. 1335-1340, 2009.

SOOD, S.G.; COMSTOCK, J.C.; RAID, R.N. Evaluation of sugarcane clones in the CP-cultivar program for resistance to *Puccinia kuehnii*, the pathogen of orange rust. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 28., 2013. São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: ISSCT, 2013. v. 28. 7p.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Setor sucroenergético – FAQ.** Disponível em: < <http://www.unica.com.br/faq/>>. Acesso em: 02 maio 2013.

TOKESHI, H.; RAGO, A. Doenças da cana-de-açúcar. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. cap. 21, v. 2, p. 185-196.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane.** Waltham: The Chronica Botanica Company, 1952. 371p.

VIRTUDAZO, E.V.; NOJIMA, H.; KAKISHIMA, M. Taxonomy of *Puccinia* species causing rust diseases on sugarcane. **Mycoscience**, Tóquio, v. 42, p. 167-175, 2001.

VON PINHO, R.G.; RAMALHO, M.A.P.; RESENDE, I.C.; SILVA, H.P.; POZAR, G. Reação de híbridos comerciais de milho às ferrugens polissora e tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 439-445, 2001.

WALKER, D.I.T. Breeding for disease resistance. In: HEINZ, D.J. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier Science, 1987. p. 455-502.

ZHAO, D.; GLYNN, N.C.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J.C.; SOOD, S.G. Orange rust effects on leaf photosynthesis and related characters of sugarcane. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 95, n. 6, p. 640-647, 2011.