



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE
PERNAMBUCO**
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
FITOPATOLOGIA**

Dissertação de Mestrado

**Epidemiologia comparativa das Ferrugens marrom
e alaranjada em genótipos de cana-de-açúcar**

Ana Flavia Trindade de Lima

Recife – PE

2022

ANA FLAVIA TRINDADE DE LIMA

**EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DAS FERRUGENS MARROM E
ALARANJADA EM GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitopatologia.

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Orientador: Prof. Dr. Humberson Rocha Silva (UFRPE)

Coorientador: Prof. Dr. Jonas Alberto Rios (UFRPE)

Coorientador: Dr. Willams José de Oliveira (UFRPE)

Recife – PE

Fev/2022

**EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DAS FERRUGENS MARROM E
ALARANJADA EM GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

ANA FLAVIA TRINDADE DE LIMA

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 22/02/2021

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Humberson Rocha Silva (UFRPE)

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Leonardo Silva Boiteux (UFRPE)

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto (UFRPE)

Recife – PE

Fev/2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L732e

Lima, Ana Flavia Trindade de
Epidemiologia comparativa das Ferrugens marrom e alaranjada em genótipos de cana-de-açúcar / Ana Flavia Trindade Lima. - 2022.
62 f. : il.

Orientador: Humberson Rocha Silva.
Coorientadores: Willams Jose de Oliveira, Jonas Alberto
Rios.Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Recife, 2022.

1. Severidade. 2. *Puccinia kuehnii*. 3. *Puccinia melanocephala*. 4. Resistência genética. 5. *Saccharum* spp..
I.Silva, Humberson Rocha, orient. II. Oliveira, Willams Jose de, coorient. III.Rios, Jonas Alberto, coorient.Título

CDD 632

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida e oportunidade de lutar pelos meus sonhos, conduzindo com maestria a minha vitória.

Agradeço aos meus pais, Maria do Carmo e Fineias Lopes, por todo amor, apoio, incentivo e por todas as orações.

Ao Gutierre Maciel, por todo apoio, amor e companheirismo nos dias de luta.

Ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia (PPGF), pelo apoio institucional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

A Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), pela parceria no desenvolvimento da pesquisa.

Ao orientador Prof. Dr. Humberson Rocha Silva, que com seu vasto conhecimento e dedicação, tornou possível a realização desse trabalho, sempre apoiando e incentivando.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Jonas Rios e Dr. Willams Oliveira por todos os ensinamentos, ajuda e pela paciência com a qual guiaram-me durante a condução da pesquisa.

Ao laboratório de epidemiologia, em especial, Roselane, Wagner e Luciana, pelo companheirismo e auxílio na realização desse trabalho.

As amigadas que construí ao longo do mestrado, Ruthe, Erasmo, Larissa, Suzilâne, Keyla, Felipe, Dionísio, por toda paciência e companheirismo.

A todos, meus sinceros agradecimentos – **Ana Flavia Lima**

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| RESUMO GERAL | 6 |
| GENERAL ABSTRACT..... | 7 |
| CAPÍTULO I | 8 |
| INTRODUÇÃO GERAL | 9 |
| 1. A cultura da cana-de-açúcar | 9 |
| 2. Doenças da cana-de-açúcar | 10 |
| 3. Ferrugem marrom (<i>Puccinia melanocephala</i> (H. & P. Sydow))..... | 11 |
| 4. Ferrugem alaranjada (<i>Puccinia kuehnii</i> ((W. Krüger) E.J. Butler) | 12 |
| 5. Estratégias de manejo das doenças | 14 |
| 6. Melhoramento genético da cana-de-açúcar para resistência as ferrugens..... | 15 |
| 7. Resistência genética de plantas..... | 16 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 19 |
| CAPÍTULO II | 26 |
| RESUMO | 28 |
| INTRODUÇÃO..... | 29 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 30 |
| RESULTADOS | 34 |
| DISCUSSÃO..... | 49 |
| REFERÊNCIAS | 56 |
| CAPÍTULO III | 61 |
| CONCLUSÕES GERAIS | 62 |

RESUMO GERAL

As doenças são consideradas fatores limitantes à produtividade da cana-de-açúcar. Dentre as mais relevantes destacam-se a Ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*) e Ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*), causando perdas entre 10 e 50% no rendimento da cultura. O estudo epidemiológico dessas doenças pode elucidar fatores relevantes na interação planta-patógeno-ambiente, a nível regional, e apontar parâmetros e variáveis úteis para a seleção de variedades resistentes dentro de programas de melhoramento genético da cultura. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a reação de genótipos de cana-de-açúcar às Ferrugens marrom e alaranjada, por meio da quantificação de parâmetros e variáveis epidemiológicas. No campo, a severidade das doenças foi quantificada em 17 genótipos, sob condições de infecção natural dos patógenos, com auxílio de escalas diagramáticas, a cada 30 dias. A partir dos valores de severidade, foram construídas as curvas de progresso, e calculados os valores de Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD). A reação dos 17 genótipos à Ferrugem alaranjada também foi avaliada em casa de vegetação. Para tanto, plantas com 60 dias de idade foram inoculadas com suspensão de 1×10^4 urediniosporos.mL⁻¹. Os períodos de incubação e latência foram determinados a partir de avaliações diárias. Após o aparecimento dos primeiros sintomas, a severidade e o número de pústulas por cm² foram quantificados nas folhas +1, +2 e +3. Em condições de campo, as curvas de progresso das Ferrugens marrom e alaranjada apresentaram evolução gradual, com taxas de progresso distintas entre os genótipos. A Ferrugem alaranjada exibiu picos de severidade mais altos em relação à Ferrugem marrom. Quatro genótipos apresentaram resistência completa à Ferrugem marrom, e 12 apresentaram resistência parcial. Para a Ferrugem alaranjada, foram três e 13 genótipos, respectivamente. Em casa de vegetação, o período de incubação da Ferrugem alaranjada variou entre 7 e 11 dias e o período de latência entre 15 e 22 dias, na maioria dos genótipos. A folha +1 foi a que melhor representou a evolução da doença em casa de vegetação, sendo a mais apropriada para avaliação de variáveis epidemiológicas nessa condição. Houve concordância entre os resultados observados para Ferrugem alaranjada em condições de campo e em casa de vegetação. Como observado neste estudo, a epidemiologia das doenças distingue-se em alguns aspectos, que foram elucidados por meio das respostas diferenciais dos genótipos avaliados. Genótipos com elevados níveis de resistência às duas doenças foram identificados e são promissores para uso comercial e/ou como parentais elite em programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Severidade, *Puccinia kuehnii*, *Puccinia melanocephala*, Resistência genética, *Saccharum* spp.

GENERAL ABSTRACT

Diseases are considered limiting factors to sugarcane productivity. Among the most relevant are brown rust (*Puccinia melanocephala*) and orange rust (*Puccinia kuehnii*), causing losses between 10 and 50% in crop productivity. The epidemiological study of these diseases can elucidate relevant factors in the plant-pathogen-environment interaction, at a regional level, and point out parameters and useful variables for the selection of resistant varieties within crop genetic improvement programs. In this context, the objective of the present study was to evaluate the reaction of sugarcane genotypes to brown and orange rust, through the quantification of parameters and epidemiological variables. In the field, the severity of the disease was quantified in 17 genotypes, under conditions of natural infection of the pathogens, with the aid of diagrammatic scales, every 30 days. From the severity values, the progress curves were constructed and the values of the Area Below the Disease Progress Curve (AACPD) were calculated. The reaction of the 17 genotypes to orange rust was also evaluated in a greenhouse. For this purpose, 60-day-old plants were inoculated with a suspension of 1×10^4 urediniospores.mL⁻¹. Incubation and latency periods were determined from daily assessments. After the appearance of the first symptoms, the severity and the number of pustules per cm² were quantified on leaves +1, +2 and +3. Under field conditions, Ferrugens brown and orange progress curves showed gradual evolution, with different rates of progress between genotypes. Orange rust showed higher severity peaks than brown rust. Four genotypes showed complete resistance to brown rust and 12 showed partial resistance. For orange rust, there were three and 13 genotypes, respectively. In a greenhouse, the incubation period of orange rust varied between 7 and 11 days and the latency period between 15 and 22 days, in most genotypes. Leaf +1 was the one that best represented the evolution of the disease in the greenhouse, being the most suitable for evaluating epidemiological variables in this condition. There was agreement between the results observed for orange rust under field conditions and in a greenhouse. As observed in this study, the epidemiology of the diseases differs in some aspects, which were elucidated through the differential responses of the evaluated genotypes. Genotypes with high levels of resistance to both diseases have been identified and are promising for commercial use and/or as elite parents in sugarcane genetic improvement programs.

Keywords: Severity, *Puccinia kuehnii*, *Puccinia melanocephala*, Genetic resistance, *Saccharum* spp.

CAPÍTULO I



Introdução Geral

EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DAS FERRUGENS MARROM E ALARANJADA EM GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR

INTRODUÇÃO GERAL

1. A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é originária da Nova Guiné, classificada como uma planta semi-perene, que pertence à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Andropogoneae*, subtribo *Saccharinae* e ao gênero *Saccharum* L. (LUCCHESI, 2001).

Para a maioria dos autores, o gênero *Saccharum* é composto por seis espécies, sendo duas selvagens, *S. spontaneum* L. e *S. robustum* Brandes Jeswit ex Grassl, e quatro formas cultivadas, *S. officinarum* L., *S. barberi* Jeswit, *S. sinensis* Roxb. e *S. edule* Hassk. As variedades desenvolvidas e cultivadas no Brasil e no mundo são híbridos oriundos basicamente das espécies *S. spontaneum* e *S. officinarum* (MORAIS et al., 2015).

Em relação a diversidade genética da cana-de-açúcar, as espécies pertencentes ao gênero *Saccharum* possuem genoma complexo e são altamente poliplóides. O nível de ploidia varia entre as espécies e cultivares híbridas. Por sua vez, a espécie *S. officinarum* tem 10 cromossomos, e é octaplóide (8 cópias de cada um dos 10 cromossomos), enquanto a espécie *S. spontaneum* tem 8 cromossomos. Essas características, como o alto nível de ploidia, aneuploidia e variedades de natureza híbrida da cana-de-açúcar, além da propagação vegetativa, impactam as técnicas de melhoramento genético da cultura, desde o cruzamento de pais selecionados a estratégias de melhoramento e seleção (ZHANG et al., 2013; D'HONTE et al., 1996).

A cana-de-açúcar desenvolve-se em forma de touceira, e é dividida em parte aérea (colmos, folhas e inflorescência) e radicular (raízes e rizomas) (MAGRO et al., 2011). A cultura apresenta dois ciclos básicos de produção em campo: o ciclo cana planta, que ocorre desde o plantio até o primeiro corte (colheita) e cana soca, que inicia-se após a colheita e continua nos demais cortes até a reforma do canavial (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011).

Como uma planta C4, a cana-de-açúcar é altamente eficiente na conversão de energia luminosa em energia química e acumula altos níveis de biomassa e sacarose nos seus colmos (RODRIGUES, 1995). Segundo Marques et al. (2018), a planta registra suas maiores taxas fotossintéticas dos três aos quatro meses e acumula açúcares no colmo e nas raízes dos 6 aos 12 meses de crescimento, em comportamento diurno. Após esse período a planta deixa de

ser fotossinteticamente ativa e está pronta para ser cortada.

Cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo, a cana-de-açúcar foi introduzida oficialmente no Brasil em 1532, onde apresentou forte expansão, e hoje encontra-se em 22 estados produtores. Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial da cultura, concentrando 40% da produção, seguido por Índia, Tailândia, China, Paquistão e México (FAO, 2020). A produção nacional de cana-de-açúcar, na safra 2020/21, foi de 654,8 milhões de toneladas, apontando aumento de 1,8% em relação à safra anterior. A produtividade média alcançou 75,9 t.ha⁻¹ e área colhida de 8,62 milhões de hectares (CONAB, 2021).

A cana-de-açúcar fornece matéria prima para diversos produtos de importância para economia brasileira, como açúcar, etanol e bioeletricidade (URASHIMA; MISTURA; PORTO, 2020). O açúcar é uma das principais *commodities* do agronegócio brasileiro, que produziu na última safra cerca de 41 milhões de toneladas do produto (CONAB, 2021). Em relação ao etanol, o Brasil produziu 29,7 bilhões de litros na safra 2020/21 (CONAB, 2021). Quanto à bioeletricidade, o sistema de cogeração advindo da cana-de-açúcar corresponde a quarta fonte mais importante da matriz elétrica brasileira, com potencial técnico de cogeração estimado em 146.000 GWh (MME, 2019).

A posição de destaque do Brasil no setor é resultado de inovações políticas, científicas e tecnológicas inseridas no canavial, dentre elas, o melhoramento genético, aplicado sobretudo na resistência de plantas a doenças, responsáveis por acarretar redução de produtividade nas lavouras de cana-de-açúcar (IVO et al., 2008).

2. Doenças da cana-de-açúcar

Dentre os fatores limitantes à produtividade da cana-de-açúcar, destacam-se as doenças, pois afetam o desenvolvimento e a produtividade das plantas. Segundo Simon et al. (2016), já foram descritas 177 doenças na cana-de-açúcar causadas por fungos, bactérias, vírus e fitoplasma. Destas, pelo menos 40 já foram relatadas no Brasil.

A ocorrência de doenças causa grandes perdas de rendimento na produção de cana-de-açúcar em todo o mundo, visto que, a severidade das infecções depende de fatores como, o tipo de variedade cultivada e condições favoráveis a ocorrência dessas doenças (GODSHALL; LEGENDRE, 2003). Segundo Landell et al. (2003), o início das pesquisas fitossanitárias com cana-de-açúcar foi marcada pelo surgimento de doenças importantes como a Gomose no século XIX, o Mosaico em 1922 e o Carvão em 1947.

Atualmente, as doenças consideradas de importância econômica na cultura da cana-de-açúcar são a Escaldadura (*Xanthomonas albilineans*), Carvão (*Sporisorium scitamineum*), Mosaico (Sugarcane mosaic virus – ScMV), Raquitismo da soqueira (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*), Podridão vermelha (*Collectotrichum falcatum*), Mancha parda (*Cercospora longipes*), Estria vermelha (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*), e as Ferrugens marrom (*Puccinia melanocephala*) e alaranjada (*Puccinia kuehnii*) (GODSHALL; LEGENDRE, 2003).

Nesse contexto, a Ferrugem marrom e a Ferrugem alaranjada destacam-se entre as mais relevantes doenças fúngicas da cultura, pois afetam o aparelho fotossintético e, conseqüentemente, diminuem a produção de sacarose da planta (HOY; HOLLIER, 2009; ZHAO et al., 2011).

3. Ferrugem marrom – *Puccinia melanocephala* (H. & P. Sydow)

A Ferrugem marrom é causada pelo fungo *Puccinia melanocephala* (H. & P. Sydow), que pertence a divisão Basidiomycota, classe *Pucciniomycetes*, ordem *Pucciniales*, família *Pucciniaceae* e ao gênero *Puccinia*. Trata-se de um fungo biotrófico, que ataca as folhas de cana-de-açúcar, exibindo pústulas (urédias) salientes e alongadas, com aproximadamente 1mm de largura e 2 a 7 mm de comprimento, ocorrendo na face abaxial (TOKESHI; RAGO, 2005). A Ferrugem marrom é monicíclica e autoica na natureza, produzindo urediniósporos e teliósporos apenas na cana-de-açúcar. Os urediniósporos são elípticos, com coloração variando de amarelo a marrom-escuro e os teliósporos são formados no final da estação de cultivo da cana-de-açúcar (PURDY; DEAN, 1983). A penetração de *P. melanocephala* em plantas de cana-de-açúcar ocorre por meio de tubos germinativos emitido pelos urediniósporos, que em geral formam apressórios sobre a abertura estomática, que são necessários para a infecção do tecido hospedeiro (SOTOMAYOR et al., 1983).

A Ferrugem marrom foi descrita pela primeira vez na República Dominicana em 1978 (PURDY et al., 1983). No entanto, a doença passou a ser considerada de importância econômica no ano de 1978, quando introduzida no Caribe. Atualmente, encontra-se amplamente distribuída em diversos países produtores de cana-de-açúcar do mundo, dentre eles o Brasil, onde o primeiro foco da doença foi registrado em 1986 no município de Capivari, estado de São Paulo (ZHANG et al., 2021; AMORIM, 1987).

A presença da doença nos canaviais reduz significativamente de produtividade. No México, uma epidemia da doença foi responsável por perdas de rendimento estimada em

50% (COMSTOCK; SHINE; RAID, 1992). De acordo com Matsuoka, Arizono e Masuda (1999), essa doença causa perdas superiores a 60 % no rendimento de variedades suscetíveis.

No início da infecção, a Ferrugem marrom apresenta pequenas manchas cloróticas alongadas, denominadas de flecks, que são visíveis em ambas as faces da superfície foliar. As manchas ocorrem com frequência do meio para as pontas das folhas (GIGLIOTI et al., 2009). De acordo com Magarey (2000) e Saciloto (2003), em variedades altamente suscetíveis, as lesões causadas pela Ferrugem progridem rapidamente e coalescem, causando necroses, que eventualmente ressecam a folha (INFANTE et al., 2009).

Em relação as condições climáticas de ocorrência, a Ferrugem marrom é favorecida por estações úmidas com temperaturas variando entre 21 e 26 °C, atacando plantas mais jovens (GIGLIOTI et al., 2009). Os esporos de *P. melanocephala* necessitam de água na superfície foliar para que ocorra sua germinação (RAID;COMSTOCK, 2000). Segundo Raid e Comstock (2000), são necessárias 8 horas de molhamento foliar e temperaturas entre 20 °C e 25 °C para que ocorra a infecção. De acordo com Sanjel et al. (2019), os urediniosporos de *P. melanocephala* germinaram *in vitro* sob temperaturas entre 20 e 32 °C. Nas plantas, observou-se a formação de pústulas do patógeno entre 10 e 14 dias após a infecção (SANGUINO; TOLEDO, 1983).

Os urediniosporos de *P. melanocephala* são facilmente disseminados pelo vento, que permite a dispersão rápida do patógeno a longas distâncias. Outras vias de disseminação são respingos de água, roupas, ferramentas e mudas ou mini-rebolos contaminados (FERRARI, 2013).

4. Ferrugem alaranjada – *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E.J. Butler

A Ferrugem alaranjada é causada pelo fungo biotrófico *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E.J. Butler, que pertence à divisão Basidiomycota, classe *Pucciniomycetes*, ordem *Pucciniales*, família *Pucciniaceae* e ao gênero *Puccinia*. O patógeno possui gama de hospedeiros restrita, entre os principais, as plantas do gênero *Saccharum* (SHAW, 1963).

A Ferrugem alaranjada foi relatada pela primeira vez na Ásia e na Austrália em 1890. Contudo, danos significativos foram reportados somente em meados do ano 2000, acarretando perdas superiores a 40% na produção de cana-de-açúcar na Austrália (MAGAREY, 2001). Em 2007, a doença foi constatada pela primeira vez no Estado da Flórida (EUA) (COMSTOCK et al., 2008). No mesmo ano, foi detectada na Guatemala, Costa Rica e Nicarágua (OVALE et al., 2009; CHAVARRÍA et al., 2009). Em 2008, foi

registrada em El Salvador, Panamá, México e Jamaica (FLORES et al., 2009).

No Brasil, o primeiro registro oficial da doença ocorreu em 2009, na região de Araraquara, São Paulo (BARBASSO et al., 2010). Em seguida, expandiu-se para várias áreas de cultivo de cana-de-açúcar, sendo observada no sul do estado de São Paulo e Paraná. Diversos clones sob seleção em programas de melhoramento foram afetados com a chegada da doença, assim como as cultivares comerciais SP89-1115, RB72454 e SP84-2025, que representavam menos de 10% da área comercial de cana-de-açúcar do país (BARBASSO et al., 2010). Até 2010, a Ferrugem alaranjada já havia sido relatada nos estados de Minas Gerais, Goiás, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro (FERRARI et al., 2010). Em 2012, a doença foi notificada no Nordeste do Brasil (CRUZ et al., 2012). De acordo com Cruz et al. (2014) e Magarey et al. (2001), a doença implica em reduções de até 50% na produção e de 15 a 20 % no teor de sacarose nos colmos de plantas de cana-de-açúcar suscetíveis.

Os sintomas causados pelas Ferrugens marrom e alaranjada são semelhantes em alguns aspectos, podendo ser confundidos em campo (PURDY; DEAN, 1983). Dessa forma, a Ferrugem alaranjada exibe pequenas manchas amareladas na lâmina foliar no início da infecção, assim como a Ferrugem marrom. No entanto, apesar da semelhança biológica, algumas diferenças morfológicas auxiliam na identificação correta dos patógenos.

Em comparação a *P. melanocephala*, as pústulas de *P. kuehnii* variam de 4 a 5 mm de comprimento, são ovais e mais agrupadas, ocorrendo frequentemente na face inferior da folha e próximas ao ponto de inserção da folha ao colmo. A Ferrugem alaranjada é uma doença monocíclica e autoica, seus urediniósporos são ovóides ou piriformes, com espessamento no ápice da parede externa, ao passo que os teliósporos dessa ferrugem são dificilmente encontrados, sendo registrados apenas por Butler em 1914 (FERRARI, 2013; RYAN; EGAN, 1989). A penetração de *P. kuehnii* em cana-de-açúcar ocorre por estômatos, com emissão de tubo germinativo e apressórios que auxiliam na infecção (SOTOMAYOR et al., 1983). Dependendo da variedade de cana-de-açúcar, as lesões causadas por *P. kuehnii* adquirem coloração laranja ou castanho alaranjada (FERRARI, 2013). Assim como *P. melanocephala*, as lesões evoluem nas folhas e formam áreas necróticas (MAGAREY, 2000).

A Ferrugem alaranjada ocorre sob temperatura entre 19 e 26 °C, durante o verão úmido, infectando plantas da metade do ciclo até a maturação (FERRARI, 2013; GIGLIOTTI et al., 2009).

De acordo com Magarey, Neilsen e Magnani (2004), a germinação de urediniósporos

de *P. kehnii in vitro* é beneficiada por condições de umidade relativa do ar igual ou superior a 97% e temperaturas entre 17 e 24 °C. Estudos realizados na Flórida e no Brasil também constataram a ocorrência da doença, sob temperaturas entre 20 e 25° C, associadas ao mínimo de 8 horas de molhamento foliar (MARTINS, 2010; LIMA et al., 2017). Em relação aos períodos de incubação e latência, Moreira et al. (2018) observaram que a incubação variou de 7 a 10 dias e a latência de 10 a 21 dias.

A disseminação de *P. kehnii*, assim como *P. melanocephala*, se dá principalmente pelo vento, podendo ocorrer também por impacto de gotas de água, roupas, ferramentas e mudas ou mini-rebolos contaminados (FERRARI, 2013).

5. Estratégias de manejo das doenças

As Ferrugens marrom e alaranjada, bem como outras doenças de plantas, devem ser controladas por meio do manejo integrado, isto é, com a utilização simultânea de diversas medidas disponíveis. Atualmente, são empregados dois métodos de controle para essas doenças em cana-de-açúcar: variedades resistentes e aplicação de fungicidas, sendo este último utilizado como uma alternativa ao primeiro, sobretudo quando a substituição de variedades suscetíveis não for possível, a curto prazo (MATSUOKA et al., 2005; CHAPOLA, 2016).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Brasil apresenta dezesseis produtos registrados para o manejo da Ferrugem marrom e 34 para o manejo da Ferrugem alaranjada em cana-de-açúcar (MAPA, 2021).

O controle químico de ambas as ferrugens apresenta resultados satisfatórios, reduzindo em até 40% a severidade da doença em variedades suscetíveis (RAID; COMSTOCK; GLYNN, 2010). No entanto, os fungicidas aumentam os custos para a condução dos canaviais, além de apresentarem riscos de contaminação ambiental. Assim, a utilização de variedades resistentes é o método de controle mais eficiente, econômico e seguro (LICHTFOUSE et al., 2009; MATSUOKA et al., 2005; MAGAREY, 2000).

Nesse contexto, os programas de melhoramento genético da cultura atuam com o objetivo de desenvolver variedades mais produtivas, tolerantes ao estresse hídrico, resistentes às pragas, doenças e melhor adaptadas à colheita mecanizada (SANGUINO, 2005).

6. Melhoramento genético da cana-de-açúcar para resistência as ferrugens

O melhoramento da cana-de-açúcar teve início em Java e Barbados no final do século XIX. No Brasil, as primeiras atividades envolvendo o melhoramento genético da cultura surgiram no início do século passado (BEZERRA et al., 2018). Atualmente no país, existem três principais programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, o do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e o Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) (RIDESA, 2015).

O programa de melhoramento genético de plantas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) foi um dos pioneiros. Embora criado no ano de 1933, o programa lançou suas primeiras cultivares, com a sigla IAC, somente em 1950 (LANDELL; BRESSINAI, 2008). Atualmente o IAC funciona como Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio da Cana (APTA Cana), investindo em biotecnologia e não se limitando apenas ao melhoramento de variedades, mas também, atuando em outras áreas relevantes para a cana-de-açúcar (LOPES, 2011).

Além do IAC, surgiram dois consagrados programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil. O primeiro foi o Centro de Tecnologia Copersucar, criado em 1969 pela Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, que lançou seu primeiro ciclo de cultivares na década de 80, nomeadas com a sigla SP. No entanto, em 2004, o programa passou a se chamar Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), tornando-se o maior centro privado de pesquisas com cana-de-açúcar do Brasil. As cultivares lançada por esse programa agora recebem a sigla CTC (FIGUEIREDO, 2008). Outro programa de melhoramento, criado em 1971, foi o Planalsucar (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar). O programa foi criado pelo Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), órgão do Ministério da Indústria e Comércio que tinha como objetivo desenvolver e transmitir resultados de pesquisa de melhoramento da cana-de-açúcar para o campo e para indústria. O Planalsucar liberou cerca de 18 cultivares até sua extinção em 1990, quando ocorreu a transferência dos recursos humanos e das estruturas físicas e tecnológicas do programa, para as Universidades Federais de Alagoas (UFAL), Rural de Pernambuco (UFRPE), Viçosa-MG (UFV), São Carlos-SP (UFSCar), Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Paraná (UFPR) e Sergipe (UFS), dando origem a Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (Ridesa), que desenvolve cultivares com a sigla RB (República do Brasil) (RIDESA, 2015).

De acordo com Oliveira, Hoffman e Barbosa (2021), atualmente as variedades RB são responsáveis pela ocupação de 60% da área canavieira brasileira, contribuindo para

elevação dos rendimentos agroindustriais do setor. Embora essa contribuição seja significativa, a proliferação de doenças tem diminuído a segurança varietal dessas variedades (CRUZ et al., 2014).

A Ferrugem alaranjada tem sido um desafio para os programas de melhoramento da cana-de-açúcar, pois patógenos causadores de ferrugens possuem frequente capacidade de suplantar genes de resistência dos hospedeiros em decorrência da variabilidade genética, o que leva ao surgimento de novas raças (CHAPOLA et al., 2016).

Para Hoy, Avellaneda e Bombecini (2014), as informações sobre a existência de raças de *P. melanocephala* são limitadas. No entanto, estudos confirmam a variabilidade do patógeno (DEAN; PURDY, 1984; SHINE et al., 2005; RAGO, 2005). Em relação a *P. kuehni*, estudos confirmam a ocorrência de variações fenotípicas e genotípicas em diferentes regiões do mundo (MISTURA et al., 2016; MOREIRA et al., 2018; URASHIMA et al., 2020).

7. Resistência genética de plantas

A resistência de plantas a doenças é uma das características mais importantes, dentro dos programas de melhoramento genético, pois substitui a necessidade de aplicações de produtos químicos visando o controle de doenças (CURSI et al., 2021). Segundo Dallagnol (2018), a resistência genética é considerada o método preferencial de controle das doenças de plantas, por ser eficiente, sem aumentar o custo de produção e reduzir os impactos ambientais.

A resistência é uma reação de defesa do hospedeiro, resultado da soma de fatores que auxiliam na diminuição da patogenicidade do agente causal (PARLEVLIET, 1997). Nesse contexto, Agrios (2005) descreve resistência como a capacidade de uma planta em atrasar e/ou evitar a entrada e atividade do patógeno no tecido do hospedeiro, de maneira que, na natureza, a resistência é a regra, e a suscetibilidade, exceção.

A capacidade das plantas se defenderem de patógenos é efetiva de modo geral, dada a multiplicidade e eficiência dos mecanismos de defesa lançados por elas. Com isso, em uma resposta de não hospedeiro, ao longo do seu processo de coevolução, as plantas desenvolveram elaborado sistema de defesa, com mecanismos “basais” atuando de forma eficiente e coordenada para neutralizar os efeitos das infecções por patógenos (CACIQUE et al., 2020). Esses mecanismos podem ser divididos em estruturais e bioquímicos, ambos pré e pós-formados (MICHEREFF, 2001). Os pré-formados existem nos hospedeiros antes

da chegada do patógeno, enquanto os pós-formados estão ausentes ou em baixos níveis antes da infecção, sendo ativados por meio da atividade do patógeno (PASCHOLATI; DALIO, 2018).

A interação planta-patógeno, após o estabelecimento de uma compatibilidade básica, demonstra uma resposta provocada quando os genes de resistência da planta (genes R) são desafiados pelos genes de virulência do patógeno (genes avr), resultando em interação compatível (quando patógeno consegue infectar a planta), ou incompatível (quando o patógeno é impedido pela defesa da planta de causar infecção).

Tratando-se dos patossistemas cana-de-açúcar x ferrugens, estudos com base na herança de resistência genética sugerem que a resistência é controlada por um gene de efeito maior e outros poucos genes de efeito menor (ASNAGHI et al., 2004; COSTET et al., 2012; GLYNN et al., 2013; KLOSOWSKI et al., 2013).

Nesse sentido, Neuber et al. (2017) e Avellaneda et al. (2018) demonstraram, em relação à Ferrugem marrom, que algumas variedades de cana-de-açúcar apresentam diferentes níveis de resistência à doença. Nas variedades modernas de cana-de-açúcar, a resistência a essa doença depende essencialmente do gene *Bru 1* (COSTET et al., 2012). Asnagui et al. (2004), mapeando o gene *Bru 1* com marcadores AFLP em 695 indivíduos da progênie de R570, demonstraram que o principal gene de resistência relacionado à Ferrugem marrom (*Bru 1*) confere resistência a um amplo espectro de isolados coletados em diferentes áreas geográficas. A presença do gene/locus *Bru 1* também foi relatada em genótipos resistentes em outros estudos (GLYNN et al., 2013; ZHANG et al., 2021).

Em relação a Ferrugem alaranjada, a resistência de hospedeiro é o método mais usual de manejo em áreas comerciais de cana-de-açúcar (ROTT et al., 2016). Segundo Jackson (2018), o melhoramento para a resistência a Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar é um processo longo e desafiador, uma vez que o genoma da cultura é muito complexo. No entanto, Yang et al. (2018) detectaram três *Quantitative Trait Loci* (QTLs) envolvidos no controle da resistência à Ferrugem alaranjada em cana-de-açúcar. Os três QTLs juntos podem reduzir 56,4 % da severidade da doença.

Uma vez que no campo ocorre forte interação patógeno, planta hospedeira e ambiente, mudanças na diversidade genética de patógenos do gênero *Puccinia* são mais propensas a ocorrer, devido seus ciclos contínuos de reprodução assexuada. Em vista disso, novas variedades resistentes precisam ser desenvolvidas constantemente, devido a coevolução entre patógeno e hospedeiro (CHAPOLA et al., 2016; ALZATE-MARIN et al., 2005; ANDERSON et al., 2010). Além disso, o estudo epidemiológico dessas doenças pode

melhorar a compreensão da interação planta-patógeno-ambiente, a nível regional, e apontar parâmetros e variáveis úteis para a seleção de genótipos resistentes em programas de melhoramento genético.

Assim, um dos principais objetivos da presente foi avaliar a reação de genótipos genéticos de cana-de-açúcar às Ferrugens marrom e alaranjada, por meio da quantificação de parâmetros e variáveis epidemiológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIOS, G. N. Plant Pathology. 5th end. **Elsevier: Academic Press**. San Diego, p.53, 2005.
- ANDERSON, J. P.; GLEASON, C. A.; FOLEY, R. C.; THRALL, P. H.; BURDON, J. B.; SINGH, K. B. Plants versus pathogens: An evolutionary arms race. **Functional Plant Biology**. ed. 37, pg. 499–512, May, 2010.
- AMORIM, L. A. BERGAMIN-FILHO, C. CARDOSO, V. A. MORAES & C. R. FERNANDES. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*). **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v.39, n.1, p.13-16, 1987.
- ALZATE-MARIN, A. L.; CERVIGNI, G.D. L.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Seleção assistida por marcadores moleculares; desenvolvimento de plantas resistentes a doenças, com ênfase em feijoeiro e soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, n.4, p.333–342, 2005.
- ASNAGHI, C.; ROQUES, D.; RUFFEL, S.; KAYE, C.; HOARAU, J. Y.; TÉLISMART. H.; GIRARD, J. C.; RABOIN, L. M.; RISTERUCCI, A. M.; GRIVET, L.; D'HONT, A. Targeted mapping of a sugarcane rust resistance gene (*Bru1*) using bulked segregant analysis and AFLP markers. **Theoretical and Applied Genetics**. v.108, n.4, p.759-764, 2004.
- AVELLANEDA, M. C.; PARCO, A. P.; HOY, J. W.; BAISAKH. N. Putative resistance-associated genes induced in sugarcane in response to the brown rust fungus, *Puccinia melanocephala* and their use in genetic diversity analysis of Louisiana sugarcane clones. **Plant Gene**. v,14, p. 20-28, 2018.
- BARBASSO, H. D.; MACCHERONI, W. J. J.; BOLDINI, J.; BRESSIANI. J.; CANAVIALIS, S. A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, v. 94, n.9, pg. 1170-1170, 2010.
- BEZERRA, J. D. C.; FERREIRA, G. D. G.; OLIVEIRA, M. W. CAMPOS, J. M. S.; ANDRADE, A. P.; NASCIMENTO JÚNIOR, J. R. S. Cana-de-açúcar: Melhoramento Genético e suas Finalidades Forrageiras. **Nucleus Animalium**, v.10, n.2, p. 131-147, 2018.
- CACIQUE, I. S.; PINTO, L. F. C. C.; AUCIQUE-PÉREZ, C. E.; WORDELL, J. A. F.; RODRIGUES F. A. Physiological and biochemical insights into the basal level of resistance of two maize hybrids in response to *Fusarium verticillioides* infection. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 152, p. 194-210, 2020.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v. 7 - Safra 2020/21, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-58 Maio de 2021.
- COMSTOCK, J. C.; SOOD, S. G.; GLYNN, N. C.; SHINE, J. M.; MCKEMY, J. M; CASTBURY, L. A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in the United States and Western Hemisphere. **Plant Disease**, v.92, n.6, p.175-175, 2008.
- CHAPOLA, R.G.; HOFFMANN, H.P.; MASSOLA JR, N.S. Reaction of sugarcane varieties to orange rust (*Puccinia kuehnii*) and methods for rapid identification of resistant genotypes. **Tropical Plant Pathology**, v.41, n.3, p.139-146, 2016.

CHAVARRÍA, E.; SUBIROS, F.; VEGAS, J.; RALDA, G.; GLYNN, N.C.; COMSTOCK, J.C. First Report of Orange Rust of Sugarcane Caused by *Puccinia kuehnii* in Costa Rica and Nicaragua. **Plant Disease**, v.93, n.4, p. 425, 2009.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A. et al. Sugarcane (*Saccharum x officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical plant biology**, v. 4, n. 1, p. 62-89, 2011.

COSTET, L.; LE CUNFF, L.; ROYAERT, S.; RABOIN, L. M.; HERVOUET, C.; TOUBI, L.; TELISMART, H.; GARSMEUR, O.; ROUSSELLE, Y.; PAUQUET, J.; NIBOUCHE, S.; GLASZMANN, J. C.; HOARAU, J. Y.; D'HONT, A. Haplotype structure around *Bru1* reveals a narrow genetic basis for brown rust resistance in modern sugarcane cultivars. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 125, n.5, p.825-836, 2012.

COMSTOCK, J.C.; SHINE, J.M.; RAID, R. "Effect of rust on sugarcane growth and biomass". **Plant Disease**. v.76, n.2, p.175-177, 1992.

CRUZ, J.C.S.; JERONIMO, E.M.; PERDONA, M.J. Informações sobre a Ferrugem Alaranjadada Cana-de-Açúcar. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 11, n. 1, 2014.

CRUZ, M. M.; MONTEIRO, J. H. A.; BARBOSA, G. V. S. Primeiro relato da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuenhii*) no Nordeste do Brasil. **Tropical Plant Pathology**, pg. 37-169, 2012.

CURSI, D. E.; CASTILLO, R. O.; TARUMOTO, Y.; UMEDA, M.; TIPPAYAWAT, A.; PONRAGDEE, W.; RACEDO, J.; PERERA, M. F.; HOFFMANN, H. P.; CARNEIRO, M. S. Origin, Genetic Diversity, Conservation, and Traditional and Molecular Breeding Approaches in Sugarcane. In: **Cash Crops**. Springer, Cham. p. 83-116, 2022.

CURSI, H.; BARBOSA, HP.; GVS. History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. **Sugar Tech**, v. 24, p.1-22 2021.

DALLAGNOL, J. L.; ARAUJO FILHO, J. V. **Resistência genética: de plantas a patógenos**. Pelotas, Ed. UFPel, p. 437 p.: il. ISBN: 978-85-517-0024-2, 2018.

DEAN, J. L.; PURDY, L. H. Races of the Sugar cane fungus *Puccinia melanocephala*, found in Florida. **Sugar Cane**, v.1, p.15-16, 1984.

D'HONT, A.; GRIVET, L.; FELDMAN, P.; RAO, P.S.; BERDING, N.; GLASZMANN, J.C. Characterization of the double genome structure of modern 84 sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) by molecular cytogenetics. **Molecular and General Genetics**, New York, v.250, p.405-413. 1996.

FAO. **Statistics Division of The FAO** (2020). Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Acesso em 15 de setembro de 2021.

FERRARI, J. T.; HARAKAVA, R.; DOMINGUES, R. J.; TERÇARIOL, I. M. L. Mapeamento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil. **O Biológico**, v.72, p.103-170, 2010.

FERRARI, J. T.; R. HARAKAVA, R. J.; DOMINGUES, I. M. L.; TERÇARIOL, J. G. T. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil**. Instituto Biológico, São Paulo, v.75, n.1, p.71-74, 2013.

FIGUEIREDO, P. **Breve histórico da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agronômico no seu estabelecimento no Brasil**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. de A. Cana-de-açúcar. Instituto Agronômico Campinas. 2008.

FLORES, R. C.; LOYO, J. R.; OJEDA, R. A.; RANGEL, O. C. A.; CERÓN, F. A.; MÁRQUEZ, W.; GUERRA MORENO, A. S.; HERNANDEZ IBARRA, H. M.; GONZÁLEZ, R. E.; CASTLEBURY, L. A.; DIXON, L. J.; GLYNN, N. C.; COMSTOCK, J. C.; FLYNN, J.; AMADOR, J. First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii*, in Mexico, El Salvador and Panama. **Plant Diseases**, v.93, n.12, p. 347, 2009.

GIGLIOTI, E. A.; CANTERI, M. G.; FRANÇA, J. A.; CARDIM, M.; DEL PONTE, E. M.; ABI SAAD, O. Informações básica para o monitoramento, diagnóstico e manejo da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Boletim técnico SCORALERT**, v. 25, n.1, p.1-6, 2009.

GLYNN, N.C.; LABORDE, C.; DAVIDSON R.W.; IREY, M.S.; GLAZ, B.; D HONT, A.; COMSTOCK, J.C. Utilization of a major brown rust resistance gene in sugarcane breeding. **Molecular Breeding**. Dordrecht, v.31, n.2, p.323–331, 2013.

GODSHALL, MA.; LEGENDRE, BL. SUGAR | Sugarcane. **Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition** (Second Edition), p. 5645-5651, 2003.

HOY, J. W.; AVELLANEDA, M. C.; BOMBECINI, J. Variabilidade na patogenicidade e resistência de *Puccinia melanocephala* em cultivares de cana-de-açúcar. **Plant Disease**. v. 98, n. 12. p. 1728-1732, 2014.

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

IVO, W. M. P. M.; SILVA, W. C.; SANTIAGO, A. D.; SILVA, P. A. **Produção de raízes de cana-de-açúcar, variedade RB83594, submetida à colheita de cana crua e queimada**. In: Congresso Nacional da STAB, Área Agrícola- Fitotecnia e Fisiologia, v. 9, p.675 – 680. Maceió, 2008.

JACKSON, P. Advances in conventional sugarcane breeding programmes. **Achieving Sustainable Cultivation of Sugarcane**. P. Rott, ed. Burleigh Dodds Publishing Limited, v.2, p.75-108, Cambridge, United Kingdom, 2018.

KLOSOWSKI, A. C.; RUARO, L.; BESPALHOK FILHO, J. C.; MAY-DE MIO, L. L. 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.

LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; SILVA, M.A. **Programa de melhoramento genético: estratégias para o desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar**. In: (Workshop), 2, Programa Cana IAC. (Coords.) LANDELL M.G.A.;

VASCONCELOS, A.C.M.; DINARDO-MIRANDA, L.L. Instituto Agronômico de Campinas. p. 7-10, 2003.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANE, J. A. **Melhoramento Genético, caracterização e manejo varietal**. In: DINARDO MIRANDA, L. L; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico, cap. 5, p.101-155, 2008.

LICHTFOUSE, E.; NAVARRETE, M.; DEBAEKE, P.; SOUCHÈRE, V.; ALBEROLA, C.; MÉNASSIEU, J. Agronomy for sustainable agriculture: a review. **Agronomy Sustain. Dev.** 29, 1–6. doi: 10.1051/agro:2008054, 2009.

LIMA, L. L.; SCALOPPI, E. A. G.; BARRETO, L. F.; BARRETO, M. Temperatures and leaf wetness duration on orange rust development in sugarcane (*Puccinia kuehni*). **Summa Phytopathologica**, v.43, n.2, p.132-135, 2017.

LOPES, C. C. F. **Mapeamento genético da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) por associação empregando marcadores SSR e AFLP**. Tese – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 140p. Piracicaba, 2011.

LUCCHESI, A. A. Sugarcane. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Ed.). Ecophysiology of extractive crops: sugarcane, rubber, coconut, oil palm and olive. Piracicaba: **Cosmópolis Stoller do Brasil**. v. 1. p. 13-45, 2001.

MAGAREY, R.C. **Orange rust**. In: ROTT, P.; BAILEY, R. A.; COMSTOCK, J. C.; CROFT, B. J.; GIRARD, J. C.; SAUMTALLY, A. S. A guide to sugarcane diseases. Montpellier: La Librairie du Cirad. p. 121-125, 2000.

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

MAGAREY, R. C.; NEILSEN, W. A.; MAGNANINI, A. J. **Environmental requirements for spore germination in the three sugarcane leaf pathogens**. In: Conference of the Australasian Society of Sugar Cane Technologists held at Brisbane, Queensland. p. 1-7, 2004.

MAGRO, F. J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P. E.; STANLEY, Y. T. **Biometria em Cana-de-açúcar**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba-SP, p.2, junho 2011.

MAPA- Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Sistema de Agrotóxico Fitossanitário**, 2021.

MARQUES, R. P. J.; HOY, J. W.; APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; VIVEROS, G. F. A.; VIEIRA, C. L. M.; BAISAKH, N. Sugarcane cell wall- associated defense responses to infection by *Sporisorium scitamineum*. **Frontiers in Plant Science**. v1.9 article 698, may, 2018.

MARTINS, T.D. **Aspecto epidemiológico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 65f, 2010.

MARTIN, J.P.; ABBOTT, E.V.; HUGHES, C.G. Sugarcane diseases in the world. **Agriculture**

Press, v.1, p.85. Beijing, 1982.

MATSUOKA, S. A.; GARCIA, A. F.; ARIZONO, H. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. p. 205-251. In A. Borém (Ed). Melhoramento de espécies cultivadas. 2.ed. Editora UFV, p. 969, Viçosa, 2005.

MATSUOKA, S.; ARIZONO, H.; MASUDA, Y. Variedades de cana: minimizando riscos na adoção. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 17, n. 2, p. 18-19, 1999.

MICHEREFF, S. J. **Fundamentos de Fitopatologia**. Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Fitossanidade. Recife – PE, 2001.

MISTURA, T. F. **Fatores que influenciam no sucesso e longevidade do controle das ferrugens da cana-de-açúcar por variedades resistentes**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de São Carlos, Junho, 2016.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Energia de dezembro de 2018**. Departamento de Informações e Estudos Energéticos – DIE. março de 2019.

MORAIS, L. K et al. **Melhoramento genético de cana-de-açúcar**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros). p.38. Aracaju, 2015.

MOREIRA, A. S.; NOGUEIRA JUNIOR, A. F.; GONÇALVES, C. R. N. B.; SOUZA, N. A.; BERGAMIN FILHO, A. Pathogenic and molecular comparison of *Puccinia kuehnii* isolates and reactions of sugarcane varieties to orange rust. **Plant Pathology**, v.67, n.8, p.1687-1696, 2018.

NEUBER, A. C.; RAQUEL, C. D. S. F.; DA COSTA, J. B.; VOLPIN, M.; XAVIER, M. A.; PERECIN, D.; BURANO, R. C. V.; LANDELL, M. G. D. A.; PINTO, L. R. Survey of the *Bru1* gene for brown rust resistance in Brazilian local and basic sugarcane germplasm. **Plant Breeding**. v.136, n.2. p.182-187, 2017.

OLIVEIRA, A. R.; HOFFMAN, P.; BARBOSA, S. G. V. **Liberação nacional de variedades RB de cana-de-açúcar**. – Curitiba: UFRPE, RIDESA, 79 p.: il. col, 2021.

OVALLE, W.; OROZCO, H.; QUEMÉ, J.; MELGAR, M.; GARCIA, S. La roya naranja en Guatemala y estrategias para su manejo. **Sugar Journal**, Santiago de Cali, v. 72, n. 3, p.18- 23, 2009.

PACHOLATI, S. F.; DALIO, R. J. D. Fisiologia do Parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIN, L.; REZENDE, J. M. A.; BERGAMIM FILHO, A (eds). **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 5th edn. Editora Agronômica Ceres Ltda, Piracicaba, pp 424-450, 2018.

PARLEVLIET, J. E. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. **Annual Review of Phytopathology**, v.17, n.1, p. 203-222, 1997.

PURDY, L.H.; LIU, L.; DEAN, J.L. Sugarcane rust, a newly important disease. **Plant Disease**, v.69, p.1292-1296, 1983.

RAID, R.N.; COMSTOCK, J. C. Common rust. IN: ROTT, P.; BAILEY, R. A.; COMSTOCK,

J. C.; CROFT, B. J.; SAUMTALLY, A. S. **A guide to sugarcane disease**. Cirad Publications, p. 85-89. Montpellier, França, 2000.

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. Resumos. Campinas: **Phytopathology**, v. 100. n. 6. p. 175, 2010.

RAGO, A. M. **Variabilidade patogênica de *Puccinia melanocephala* e *Ustilago scitaminea* no estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RIDESA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba: RIDESA, p.136, 2015.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, 1995.

ROTT, P. C.; KAYE, C.; NARANJO, M.; SHINE JR.; M. J., SOOD, S.; COMSTOCK, J. C.; AND RAID, R. N. Controlling sugarcane diseases in Florida: A challenge in constant evolution. Proc. Int. Soc. **Sugar Cane Technol.** v.29, p.595-600, 2016.

RYAN, C. C.; EGAN, B. T. Rust. In: RICAUD, C.; EGAN, B. T.; GILLASPIE JUNIOR, A. G.; HUGHES, C. G. **Diseases of sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, p. 189-210, 1989.

SACIOTO, R.F.Z. **Inserção do gene PR5K em cana-de-açúcar visando induzir resistência ao fungo da ferrugem *Puccinia melanocephala***. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Esalq “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2003.

SANGUINO, A. **Alertas sobre doenças na cultura da cana-de-açúcar**. Revista Opiniões-Jul-Set 2005.

SANGUINO, A.; TOLEDO, A. C. D. Considerações sobre a ferrugem da cana-de-açúcar. **Boletim técnico Copersucar**, São Paulo, v. 22, p. 25-31, 1983.

SANJEL, S. H.; CHAULAGAIN, B.; SMALL, M. I.; COMSTOCK, C. J.; HINCAPIE, M.; RAID, R. N.; ROTT, P. Comparison of progress of brown rust and orange rust and conditions conducive for severe epidemic development during the sugarcane crop season in Florida. **Plant Disease**. v. 103, n.5, p.825-831, 2019.

SHAW, M. The physiology and host-parasite relations of the rusts. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.1, p. 259 - 294, 1963.

SHINE, J. M. J. R.; COMSTOCK, J. C.; DEAN, J. L. Comparison of five isolates of sugarcane rust and differential reaction on six sugarcane clones. **Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 25, p. 638–647, 2005.

SIMON, E. D. T.; VERÍSSIMO, M. A. A.; HÄRTER, A.; UENO, B. **Doenças da Cana-de-açúcar**. In: SILVA, S. D. et al. de (Ed.). Sistema de produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.247, 2016.

- SOUZA, B. F.; TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Aspectos Gerais da Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar. **Rev. Bras. de Iniciação Científica (RBIC)**, Itapetinga, v. 5, n.5, p. 32-47, 2018.
- SOTOMAYOR, I. A.; PURDY, L. H.; TRESE, A. T. Infection of sugarcane leaves by *Puccinia melanocephala*. **Phytopathology**, v. 73, p. 695-699, 1983.
- SRINIVASAN, K.V.; MUTHAIYAN, M. C. A note on physiologic races in *Puccinia erianthi* Padw. Khan affecting sugar cane varieties. **Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists**. v.12, p.1126–1128, 1965.
- TOKESHI, H.; RAGO, A. Doenças da cana-de-açúcar. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M; FILHO, A. B.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. cap. 21, p. 185-196. Ceres, São Paulo, 2005.
- URASHIMA, A. S., MISTURA, T. D. F., PORTO, L. N. R., AUSTIN, P. D., & ARIAS, R. S. Genetic diversity of *Puccinia kuehnii*, the causal agent of orange rust of sugarcane, from Brazil. **Journal of Phytopathology**, v.168, n.10, p. 581-590, 2020.
- YANG, X.; ISLAM, M. S.; SOOD, S.; MAYA, S.; HANON, E. A.; COMSTOCK, J.; WANG, J. Identifying *Quantitative Trait Loci* (QTLs) and developing diagnostic Markers Linked to Orange rust resistance in sugarcane (*Shaccharum* spp.). **Frontiers in Plant Science**, v.9, p. 350, 2018.
- ZHANG, RONG-YUE et al. Identification of brown rust resistance in the field and detection of the Bru1 gene in sugarcane varieties. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v. 21, n. 2, 2021.
- ZHANG, J.; ZHOU, M.; WALSH, J.; ZHU, L.; CHEN, Y.; MING, RAY. Sugarcane genetics and genomics. **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**, v.12, p. 623 – 643, 2014
- ZHAO, D.; GLYNN, N.C.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J.C.; SOOD, S. Orange rust effects on leaf photosynthesis and related characters of sugarcane. **Plant Disease**, Saint Paul, v.95, n.6, 2011.

CAPÍTULO II

Epidemiologia comparativa das Ferrugens marrom e alaranjada em genótipos de cana-de-açúcar

**Epidemiologia comparativa das Ferrugens marrom e alaranjada em genótipos de
cana-de-açúcar**

Ana Flavia Trindade de Lima¹, Jonas Alberto Rios ¹, Willams José de Oliveira ², Djalma Euzébio Simões Neto², Humberson Rocha Silva¹

¹Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE 52171-900, Brasil

²Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina - EECAC – UFRPE, Carpina, Pernambuco, PE, CEP: 55810-700, Brasil

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a reação de genótipos de cana-de-açúcar às Ferrugens marrom e alaranjada, por meio da quantificação de parâmetros e variáveis epidemiológicas. No campo, a severidade das doenças foi quantificada em 17 genótipos, sob condições de infecção natural dos patógenos, com auxílio de escalas diagramáticas, a cada 30 dias. A partir dos valores de severidade, foram construídas as curvas de progresso, e calculados os valores de Área abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD). A reação dos 17 genótipos à Ferrugem alaranjada também foi avaliada em casa de vegetação. Para tanto, plantas com 60 dias de idade foram inoculadas com suspensão de 1×10^4 urediniosporos.mL⁻¹. Os períodos de incubação e latência foram determinados a partir de avaliações diárias. Após o aparecimento dos primeiros sintomas, a severidade e o número de pústulas por cm² foram quantificados nas folhas +1, +2 e +3. Em condições de campo, as curvas de progresso das Ferrugens marrom e alaranjada apresentaram evolução gradual, com taxas de progresso distintas entre os genótipos genéticos. A Ferrugem alaranjada exibiu picos de severidade mais altos em relação à Ferrugem marrom. Quatro genótipos apresentaram resistência completa à Ferrugem marrom, e 12 apresentaram resistência parcial. Para a Ferrugem alaranjada, foram três e 13 genótipos, respectivamente. Em casa de vegetação, a incubação da Ferrugem alaranjada variou entre 7 e 11 dias e a latência entre 15 e 22 dias, na maioria dos genótipos. A folha +1 foi a que melhor representou a evolução da doença em casa de vegetação, sendo a mais apropriada para avaliação de variáveis epidemiológicas nessa condição. Houve concordância entre os resultados observados para Ferrugem alaranjada em condições de campo e em casa de vegetação. Como observado neste estudo, a epidemiologia das doenças distingue-se em alguns aspectos, que foram elucidados por meio das respostas diferenciais dos genótipos avaliados. Genótipos com elevados níveis de resistência às duas doenças foram identificados e são promissores para uso comercial e/ou como parentais elite em programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Severidade, *Puccinia kuehnii*, *Puccinia melanocephala*, Resistência genética, *Saccharum* spp.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é cultivada em mais de 100 países, estando entre as mais importantes espécies cultivadas no mundo (BARROS et al., 2018). O Brasil é atualmente o maior produtor mundial da cultura, com produção estimada de 654,8 milhões de toneladas na safra 2020/21, o que corresponde a aproximadamente 40% da produção mundial. A contribuição do setor sucroenergético tem sido significativa para o agronegócio brasileiro, sobretudo quanto ao seu potencial para produção de açúcar, etanol e bioeletricidade (CONAB, 2021).

A competência produtiva da cana-de-açúcar é resultado de aplicações tecnológicas no setor. No entanto, seu rendimento é influenciado por diversos fatores, entre eles, características genéticas da cultura, condições climáticas, características físico-químicas do solo, ataque de pragas e incidência de doenças (LIMA et al., 2017). Nesse sentido, assim como em outras culturas, a ocorrência de doenças tem afetado diretamente a produção de cana-de-açúcar (YANG et al., 2018).

Dentre as principais doenças fúngicas, as Ferrugens marrom – *Puccinia melanocephala* (H. & P. Sydow) e alaranjada – *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E.J. Butler) destacam-se por causar danos significativos na cultura, pois a produção de pústulas na superfície foliar reduz a área fotossintética da planta, e conseqüentemente, a produção de sacarose (HOY; HOLLIER, 2009; ZHAO et al., 2011). Ambas as ferrugens encontram-se amplamente distribuídas no mundo, causando perdas entre 10 e 50% no rendimento da cana-de-açúcar (COSTET et al., 2012; MAGAREY et al., 2001).

A Ferrugem marrom encontra-se presente no Brasil desde 1986, e por décadas foi considerada a principal doença fúngica de importância nos canaviais. No ano de 2009, com a entrada da Ferrugem alaranjada no país, ambas passaram a ser responsáveis por perdas em variedades consideradas suscetíveis, em diversas áreas produtoras (BARBASSO et al., 2009; CHAPOLA et al., 2016).

O método de controle mais eficiente para essas doenças é o uso de variedades resistentes (MAGAREY et al., 2001). Nesse contexto, é importante destacar a necessidade de desenvolver e avaliar novos genótipos, visando posicionar novas variedades resistentes no mercado. Contudo, o sucesso desse tipo de controle depende não apenas da constituição genética das plantas, mas também da diversidade genética das populações dos patógenos, do ambiente e da relação entre esses fatores, podendo desencadear ou não, o processo doença (RAGO, 2005; URASHIMA et al. 2020; SANTOS, 2010). Assim, o estudo epidemiológico

das ferrugens da cana-de-açúcar pode melhorar a compreensão da interação planta-patógeno-ambiente, a nível regional, e apontar parâmetros e variáveis úteis para a seleção de genótipos resistentes, em programas de melhoramento genético.

Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a reação de genótipos de cana-de-açúcar às Ferrugens marrom e alaranjada, por meio da quantificação de parâmetros e variáveis epidemiológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Identificação dos genótipos

Os experimentos foram conduzidos com 17 genótipos de cana-de-açúcar, fornecidos pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), sendo 12 clones exclusivos e cinco variedades comerciais. Os clones foram: RB111070, RB111059, RB101130, RB111072, RB101041, RB101060, RB101056, RB101046, RB111064, RB111060, RB101068 e RB111073. As variedades RB867515, RB041443 e RB021754 foram introduzidas como padrão resistente à ambas as ferrugens. A variedade RB943047 foi incluída como padrão resistente à Ferrugem marrom, e intermediário à Ferrugem alaranjada, e a variedade RB92579 como padrão intermediário à Ferrugem alaranjada.

Reação dos genótipos em campo

Instalação do experimento

O experimento de campo foi conduzido na Estação de Floração e Cruzamento de Devaneio (EFCD), situada no município de Amaraji, mesorregião da Zona da Mata de Pernambuco. As coordenadas do ponto de referência da área experimental são latitude -8,327928°, longitude -35,409199° e 501 m altitude. De acordo com a classificação de Köppen (1928), o local apresenta clima do tipo As, tropical, com temperatura mínima de 18,92 °C e máxima de 28,15 °C. A precipitação média anual da região é de 2600 mm, apresentando estação seca de setembro a fevereiro.

O experimento foi implantado em novembro de 2020, sob condições de infecção natural pelos patógenos, provenientes de cultivos comerciais localizados no entorno da área

experimental. Cada genótipo (clone ou variedade) consistiu em um tratamento. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por três linhas de 5 m de comprimento cada, com espaçamento de 1,4 m entre fileiras.

O plantio das parcelas foi realizado com colmos contendo de quatro a seis gemas, distribuídos em sulcos, conforme recomendado para cultivo da cana-de-açúcar. Para a multiplicação e uniformização do inóculo na área, foi realizado o plantio de dois sulcos de borda com as variedades SP 79-1011 (padrão de suscetibilidade à Ferrugem marrom) e SP 78-4764 (padrão de suscetibilidade à Ferrugem alaranjada), e entre os blocos, linhas infectivas divididas ao meio com as mesma variedades.

Os dados de precipitação mensal foram obtidos a partir de pluviômetro automático da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), instalado no município de Amaraji-PE. Já os dados de temperatura mínima e máxima foram obtidos a partir dos mapas de krigagem, gerados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Avaliações e análise de dados

As avaliações iniciaram aos três meses após o plantio e foram conduzidas mensalmente por 12 meses (idade do primeiro corte) em cana planta. Foram demarcados três colmos por parcela, para avaliação da severidade das doenças na folha +3, isto é, na terceira folha expandida, contando-se de cima para baixo (VAN DILLEWIJN, 1952).

Para avaliar a severidade das doenças, foram utilizadas escalas diagramáticas para estimar a porcentagem de área foliar lesionada em função da Ferrugem marrom (AMORIM et al., 1987) e da Ferrugem alaranjada (KLOSOWSKI et al., 2013). Com esses dados, foram confeccionadas as curvas de progresso de cada doença, e calculados os valores de Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), conforme a equação 1, proposta por Shaner e Finney (1977).

(1)

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

Em que:

AACPD = Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença; y_i = Proporção da doença na i -ésima observação; t_i = Tempo, em dias, na i -ésima observação; n = Número total de

observações.

Os dados de AACPD e severidade final foram utilizados para caracterizar o comportamento dos genótipos em suscetíveis ou resistentes às doenças. Assumiu-se como suscetíveis, os genótipos com valores de severidade significativamente maiores que os observados em variedades consideradas como padrão de resistência intermediária. Para os genótipos desprovidos de sintomas das doenças e sinais dos patógenos ao longo das avaliações, assumiu-se resistência completa. Por fim, assumiu-se resistência parcial para os genótipos dentro desse intervalo.

Os dados de AACPD e severidade final foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade de variância dos resíduos, e quando as pressuposições não foram atendidas, procedeu-se com a transformação dos dados por $\ln(x+1)$. Posteriormente, os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância, e quando as diferenças foram significativas, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey, à 5% de probabilidade. Para determinar a melhor época de avaliação da severidade, no menor intervalo de tempo, realizou-se a análise de correlação de Pearson utilizando as variáveis AACPD e severidade de cada data de avaliação. Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2020), com auxílio do pacote Agricolae.

Reação dos genótipos em casa de vegetação

Instalação do experimento

Para o experimento em casa de vegetação, avaliou-se a reação dos mesmos genótipos à Ferrugem alaranjada. Nesse caso, mini rebolos de gema única foram plantados diretamente em sacos de polietileno com a capacidade de 4 L (15 x 30cm), contendo mistura de substrato e areia na proporção 2:1. Cada genótipo consistiu em um tratamento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo cada parcela composta por três plantas. Estas foram mantidas em casa de vegetação por 60 dias até o momento da inoculação, recebendo irrigação duas vezes ao dia.

Coleta do inóculo e inoculação

Os urediniósporos de *P. kehnii* foram obtidos diretamente de folhas das variedades RB92579 e RB943047 com sintomas de Ferrugem alaranjada, oriundas do campo. A coleta dos urediniósporos foi realizada com auxílio de cápsulas de gelatina devidamente esterilizadas.

A viabilidade dos urediniósporos foi avaliada por meio do preparo e deposição de suspensão em quatro placas de Petri, contendo meio ágar-água (2%). A suspensão foi espalhada nas placas, com auxílio de alça de Drigalski, e em seguida, as placas foram incubadas no escuro por 12 horas, em temperatura ambiente. Foram avaliados 200 urediniósporos por placa, sendo considerados germinados aqueles com tubo germinativo mais longo que o seu maior diâmetro (MINCHIO et al., 2011).

O preparo da suspensão para inocular as mudas foi realizado com a adição dos urediniósporos em água destilada, e duas gotas do dispersante adesivo, Tween 80, por litro de suspensão. Esta foi ajustada para 1×10^4 urediniósporos mL^{-1} , com auxílio de hemacitômetro. Posteriormente, plantas com 60 dias de idade foram inoculadas, pulverizando-se todas as folhas uniformemente até o ponto de escorrimento (CHAPOLA et al., 2016).

Após a inoculação, as plantas foram mantidas em câmara úmida, por 24 horas, sob temperatura média de 20,75 °C e umidade relativa do ar média de 84%, condições consideradas favoráveis para germinação dos esporos (MINCHIO et al., 2011). Em seguida, foram transferidas para casa de vegetação, para a condução do ensaio e avaliações.

A temperatura e a umidade relativa do ar, durante a condução do experimento, foram registradas com auxílio de *datalogger* modelo RC-51H, Elitech®. A média geral da temperatura no decorrer do experimento foi de 25,30°C (média diária mínima, 23,08°C; média diária máxima, 27,84°C). Já a média geral da umidade relativa do ar foi de 85,58% (média diária mínima, 75,44%; média diária máxima 92,44%).

Avaliações e análise de dados

A fim de determinar o período de incubação da doença, compreendido como o intervalo de tempo entre a inoculação e o aparecimento dos sintomas, e o período de latência, compreendido desde a inoculação até a esporulação do patógeno, realizou-se a avaliação das

plantas diariamente, até o aparecimento dos sintomas e sinais (esporulação das pústulas) em ao menos 50% das plantas de cada genótipo, respectivamente (CHAPOLA et al., 2016).

A severidade da doença foi quantificada por meio de escala diagramática (KLOSOWSKI et al., 2013). A folha +1 foi marcada com barbante para identificação da posição da folha no decorrer das avaliações. As três plantas da parcela foram avaliadas, considerando-se para quantificação da variável, as folhas +1, +2 e +3. As avaliações foram feitas semanalmente, até a doença atingir o máximo de severidade nas variedades suscetíveis.

O número de pústulas por cm² foi quantificado nas folhas +1, +2 e +3, com auxílio de molde com abertura interna de 1 cm². Foi considerada a média de contagens dos terços basal, médio e apical das folhas.

Os dados foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade de variância dos resíduos, e quando as pressuposições não foram atendidas, procedeu-se com a transformação dos dados por $\ln(x+1)$. Posteriormente, os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância, e quando as diferenças foram significativas, os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey, à 5% de probabilidade. As análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2020), com auxílio do pacote Agricolae.

RESULTADOS

Reação dos genótipos à Ferrugem marrom em campo

A Ferrugem marrom apresentou progresso diferenciado entre os genótipos avaliados ao longo dos 10 meses, em condições de campo (Figura 1). Os primeiros sintomas da doença foram observados nos genótipos RB101041 e RB101060, em março/2021, coincidindo com o início da estação mais chuvosa do ano, cerca de 121 dias após o plantio. O genótipo RB101041 apresentou maior suscetibilidade à doença, atingindo severidade final de 48,33%, enquanto os demais genótipos apresentaram valores entre 0 e 10,58%. Sete dos genótipos avaliados, RB111072, RB101056, RB101046, RB111064, RB943047, RB92579 e RB111073, apresentaram os primeiros sintomas da doença no mês de abril, no qual, o volume de chuva acumulado atingiu 431,8 mm e temperaturas mínimas e máximas entre 21,5°C e 31,5°C (Figura 1). Já nos genótipos RB111060, RB867515, RB111059 e RB021754, a doença teve incremento inicial mais tardio, nos meses de maio e junho. Nos

genótipos RB101060, RB111064, RB943047 e RB92579, houve incrementos de severidade mais evidentes a partir de julho. Nos genótipos RB041443, RB111070, RB101130 e RB101068, não foram registrados valores de severidade em nenhuma das avaliações realizadas.

Durante os meses de avaliação, o acumulado mensal de precipitação variou entre 14,2 mm e 431,8 mm, com maiores valores observados entre março e agosto (período chuvoso na região). As temperaturas mínimas e máximas apresentaram variações entre 19,05°C e 33,05°C, respectivamente (Figura 1).

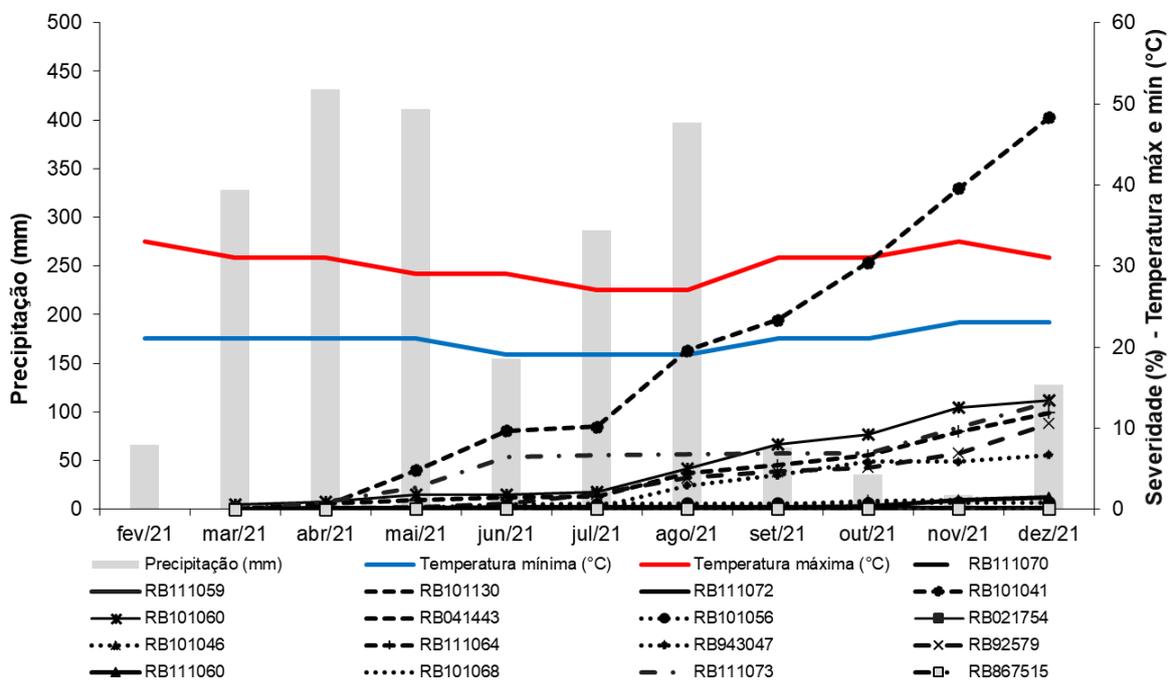


Figura 1. Curvas de progresso da Ferrugem marrom em 17 genótipos de cana-de-açúcar durante 10 meses de avaliação, precipitação mensal (mm) e temperatura média (°C)

Houve diferença significativa entre os genótipos para as variáveis Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem marrom (AACPFM) e severidade final ($p < 0,05$). Os valores de severidade final para a folha +3 dos genótipos variaram entre 0 e 48,33% (Tabela 1).

A diferenciação dos genótipos em grupos foi estruturada utilizando-se como critério a AACPFM. Com isso, os genótipos foram discriminados em três grupos (Tabela 1). O primeiro grupo foi formado pelo genótipo RB101041, que diferiu significativamente dos demais genótipos e atingiu o maior valor de severidade final (48,33%), comportando-se como o mais suscetível à Ferrugem marrom. Os genótipos RB111070, RB101130, RB101068, RB041443, RB021754, RB867515, RB101060, RB111059, RB111072 e

RB101046 não diferiram significativamente entre si. No entanto, os genótipos RB111070, RB101130, RB101068 e RB041443 apresentaram resistência do tipo imune à Ferrugem marrom, pois não apresentaram sintomas da doença em nenhuma das avaliações. Os demais genótipos apresentaram resistência parcial, com valores de severidade final variando entre 0,04 e 1,42%. Os genótipos RB111073, RB111064, RB92579, RB101056, RB111060 e RB943047 apresentaram menor nível de resistência parcial, haja vista que as porcentagens de severidade final variaram entre 1,17 e 10,58%.

Em relação à severidade final, houve a formação de maior número de grupos estatísticos, concordando em parte, com os resultados observados para a AACPFM (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem marrom (AACPFM) e severidade final na folha +3 dos 17 genótipos de cana-de-açúcar.

| Genótipos | AACPFM ⁽¹⁾ | | Sev. Final (dados originais) | | Sev. Final ⁽¹⁾ | |
|------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------------|------|----------------------------------|--|
| RB101041 | 8,75 | a ⁽²⁾ | 48,33 | 3,88 | a ⁽²⁾ | |
| RB111073 | 5,58 | ab | 2,33 | 1,55 | b | |
| RB111064 | 5,00 | ab | 1,17 | 0,56 | bc | |
| RB92579 | 4,94 | ab | 10,58 | 1,80 | b | |
| RB101056 | 3,92 | ab | 0,83 | 0,50 | bc | |
| RB111060 | 3,65 | ab | 1,46 | 0,72 | bc | |
| RB943047 | 2,90 | ab | 6,71 | 0,05 | c | |
| RB101046 | 2,68 | b | 1,42 | 0,53 | bc | |
| RB111072 | 2,27 | b | 0,17 | 0,14 | c | |
| RB111059 | 2,15 | b | 0,13 | 0,11 | c | |
| RB867515 | 1,96 | b | 0,08 | 0,08 | c | |
| RB101060 | 1,29 | b | 0,11 | 0,10 | c | |
| RB021754 | 0,96 | b | 0,04 | 0,04 | c | |
| RB041443 | 0 | b | 0 | 0 | c | |
| RB101068 | 0 | b | 0 | 0 | c | |
| RB101130 | 0 | b | 0 | 0 | c | |
| RB111070 | 0 | b | 0 | 0 | c | |

⁽¹⁾ Dados transformados por $\ln(x+1)$.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As correlações entre a AACPFM e as 10 avaliações mensais de severidade foram positivas e significativas ($p < 0,05$). Os valores do coeficiente de correlação variam entre 0,42 (primeira avaliação) e 0,99 (sexta e sétima avaliação) (Tabela 2). As maiores correlações

com a AACPFM foram observadas a partir da sexta avaliação, realizada no final de agosto, até meados de dezembro (décima avaliação). Nesse período os coeficientes de correlação variaram entre 0.97 e 0.99.

Tabela 2. Correlação entre valores mensais de Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem marrom (AACPFM) e severidade da doença, na folha+3, para 17 genótipos de cana-de-açúcar.

| Avaliações | Variáveis correlacionadas | Coefficiente de correlação (r) |
|------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | AACPFM x Avaliação 12/03/2021 | 0.42* |
| 2 | AACPFM x Avaliação 14/04/2021 | 0.74 * |
| 3 | AACPFM x Avaliação 19/05/2021 | 0.92* |
| 4 | AACPFM x Avaliação 22/06/2021 | 0.83* |
| 5 | AACPFM x Avaliação 22/07/2021 | 0.86* |
| 6 | AACPFM x Avaliação 27/08/2021 | 0.99* |
| 7 | AACPFM x Avaliação 24/09/2021 | 0.99* |
| 8 | AACPFM x Avaliação 21/10/2021 | 0.98* |
| 9 | AACPFM x Avaliação 20/11/2021 | 0.98* |
| 10 | AACPFM x Avaliação 15/12/2021 | 0.97* |

*significativo à 5% pelo teste *t*.

Reação dos genótipos à Ferrugem alaranjada em campo

Os primeiros sintomas da Ferrugem alaranjada foram observados em março/2021, nos genótipos RB111059, RB101041, RB021754, RB101046, RB111064, RB943047, RB92579, RB111073 (Figura 2). Para os genótipos RB101060, RB101056, RB111060, RB041443 e RB867515, os primeiros sintomas foram observados a partir dos meses de abril e maio. Os genótipos RB111070, RB111072 e RB101068 não apresentaram sintomas da doença durante as avaliações.

Os genótipos RB021754 e RB101046 apresentaram maior suscetibilidade à doença, atingindo severidade final de 39,98 e 31,10%, respectivamente, enquanto os demais genótipos apresentaram valores variando entre 0,01 e 27,16%. O progresso da doença foi muito próximo para os genótipos RB021754, RB101046, RB111073, RB111064, RB101060, RB111060, RB943047, RB101041 e RB92579 até o quarto mês de avaliação (junho/2021), com leve evolução dos sintomas. No entanto, para os genótipos mais suscetíveis, foi observada maior evolução da severidade. Durante esse período, o volume de chuva atingiu 155 mm e temperaturas mínimas e máximas variando entre 19,05°C e 29,05°C.

Já nos genótipos RB92579, RB101041, RB111060, RB943047, RB101060, RB111073 e RB111064, o incremento da doença foi mais tardio (agosto) e atingiu picos da doença mais baixos comparados aos genótipos suscetíveis. Nesse período, a precipitação mensal registrada foi de 397,1 mm as temperaturas mínimas e máximas variaram entre 19,05°C e 27,05°C. Nos genótipos RB111059, RB041443, RB101056, RB101068 e RB867515, não foram observados incrementos significativos da doença ao longo das avaliações (Figura 2).

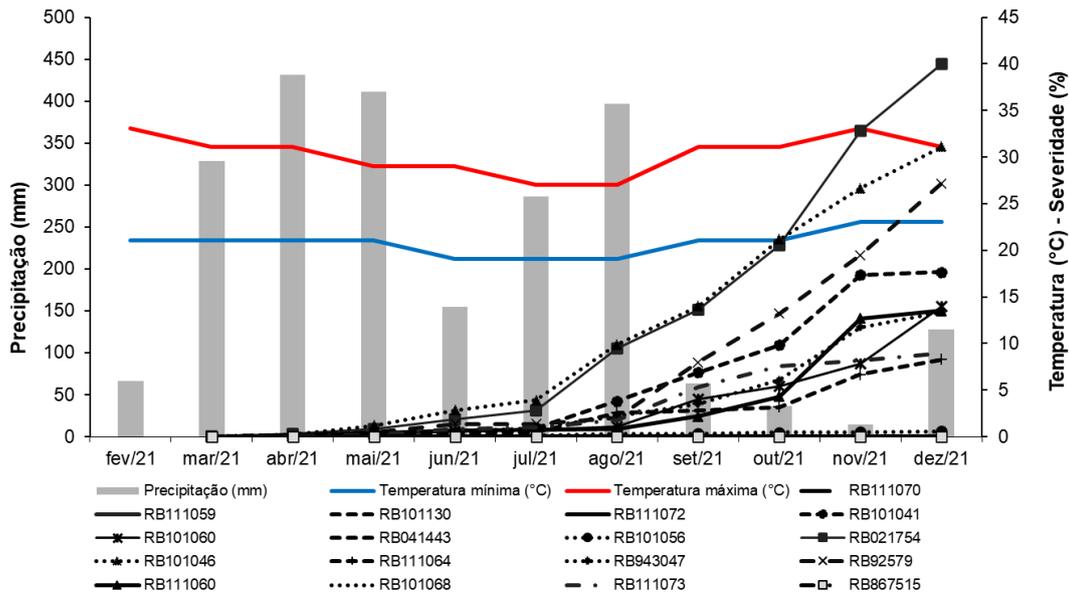


Figura 2. Curvas de progresso da Ferrugem alaranjada em 17 genótipos de cana-de-açúcar durante 10 meses de avaliação, precipitação mensal (mm) e temperatura média (°C).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os genótipos testados quanto à Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem alaranjada (AACPF) e severidade final. Os sintomas da doença foram observados em 14 dos 17 genótipos avaliados, com valores de severidade final variando entre 0 e 39,98% (Tabela 3).

Considerando a AACPF, os genótipos foram diferenciados em cinco grupos. O primeiro grupo estatístico foi formado pelo genótipo RB021754, o mais suscetível à doença, com valor de severidade final de 39,98%. Os genótipos RB101130, RB111070 e RB111072 apresentaram resposta imune à doença. As variedades utilizadas como padrão de resistência à doença, RB867515 e RB041443, e os genótipos RB101068 e RB111059, não diferiram significativamente dos genótipos com resistência do tipo imune. No entanto, esses genótipos apresentaram valores de severidade final entre 0,01 e 0,06 %, considerados muito baixos.

O genótipo RB101056 diferiu estatisticamente dos genótipos mencionados anteriormente, atingindo severidade final de 0,58%. Os demais genótipos apresentaram valores mais elevados de AACPF e também, de severidade final, cujos valores variaram

entre 8,27 e 31,10% (Tabela 3).

Tabela 3 Valores de Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem alaranjada (AACPFPA) e Severidade final (%) na folha +3 dos 17 genótipos de cana-de-açúcar.

| Genótipos | AACPFPA ⁽¹⁾ | | Sev. Final (dados originais) | Sev. Final ⁽¹⁾ | |
|-----------|------------------------|------------------|------------------------------|---------------------------|------------------|
| RB021754 | 8,21 | a ⁽²⁾ | 39,98 | 3,70 | a ⁽²⁾ |
| RB101046 | 8,16 | ab | 31,10 | 3,42 | ab |
| RB92579 | 7,68 | ab | 27,16 | 3,31 | ab |
| RB101060 | 6,96 | ab | 13,98 | 2,58 | abc |
| RB111060 | 6,92 | ab | 13,35 | 2,66 | abc |
| RB111073 | 6,82 | ab | 8,95 | 2,13 | bc |
| RB943047 | 6,75 | ab | 13,34 | 2,37 | abc |
| RB101041 | 6,49 | ab | 17,68 | 2,40 | abc |
| RB111064 | 6,02 | bc | 8,27 | 1,80 | cd |
| RB101056 | 4,25 | c | 0,58 | 0,43 | de |
| RB111059 | 2,09 | d | 0,06 | 0,06 | e |
| RB041443 | 0,50 | d | 0,01 | 0,005 | e |
| RB867515 | 0,50 | d | 0,01 | 0,005 | e |
| RB101068 | 0,04 | d | 0,01 | 0,005 | e |
| RB101130 | 0 | d | 0 | 0 | e |
| RB111070 | 0 | d | 0 | 0 | e |
| RB111072 | 0 | d | 0 | 0 | e |

⁽¹⁾ Dados transformados por $\ln(x+1)$.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Para Ferrugem alaranjada, as correlações entre a AACPFPA e as 10 avaliações mensais de severidade foram positivas e significativas ($p < 0,05$). Os valores do coeficiente de correlação variam entre 0,64 (primeira avaliação) e 0,98 (oitava e nona avaliação) (Tabela 4). As maiores correlações com a AACPFM foram observadas a partir da sexta avaliação, realizada no final de agosto, até meados de dezembro (décima avaliação). Nesse período os coeficientes de correlação variaram entre 0.97 e 0.99.

Tabela 4. Correlação entre valores mensais de Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem alaranjada (AACPFA) e severidade da doença, na folha +3, para 17 genótipos de cana-de-açúcar.

| Avaliações | Variáveis correlacionadas | Coefficiente de correlação (r) |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | AACPFA x Avaliação 12/03/2021 | 0.64* |
| 2 | AACPFA x Avaliação 14/04/2021 | 0.70* |
| 3 | AACPFA x Avaliação 19/05/2021 | 0.77* |
| 4 | AACPFA x Avaliação 22/06/2021 | 0.71* |
| 5 | AACPFA x Avaliação 22/07/2021 | 0.82* |
| 6 | AACPFA x Avaliação 27/08/2021 | 0.91* |
| 7 | AACPFA x Avaliação 24/09/2021 | 0.96* |
| 8 | AACPFA x Avaliação 21/10/2021 | 0.98* |
| 9 | AACPFA x Avaliação 20/11/2021 | 0.98* |
| 10 | AACPFAx Avaliação 15/12/2021 | 0.96* |

*significativo à 5% pelo teste *t*.

Reação dos genótipos em casa de vegetação

Os genótipos RB021754, RB101046, RB101056 e RB111073 apresentaram os menores período de incubação e latência, cujos valores foram de 7 dias após inoculação (DAI) e 15 DAI, respectivamente (Tabela 5). Os genótipos RB111070, RB101041, RB101060 e RB943047, atingiram períodos de incubação e latência aos 11 e 22 DAI, respectivamente (Tabela 5). Na variedade RB041443, o período de incubação foi de 14 DAI, e o período de latência, 22 DAI. Em relação ao genótipo RB101059, os períodos de incubação e latência foram os mais longos, ocorrendo respectivamente aos 24 e 44 DAI. O genótipo RB101130, apesar de ter atingido o período de incubação aos 11 DAI, não atingiu o período de latente até o final das avaliações, pois não atingiu o critério de ao menos 50% das plantas com pústulas. Nos genótipos RB111072, RB111064 e RB867515, não foram determinados os períodos de incubação e latência, devido à ausência de sintomas e sinais, durante as avaliações.

Tabela 5. Períodos de incubação e latência (dias após inoculação) da Ferrugem alaranjada nos 17 genótipos de cana-de-açúcar.

| Genótipos | Incubação (DAI) | Latência (DAI) |
|------------------|------------------------|-----------------------|
| RB101056 | 7 | 15 |
| RB021754 | 7 | 15 |
| RB101046 | 7 | 15 |
| RB111073 | 7 | 15 |
| RB111070 | 11 | 22 |
| RB101041 | 11 | 22 |
| RB101060 | 11 | 22 |
| RB943047 | 11 | 22 |
| RB92759 | 11 | 22 |
| RB111060 | 11 | 22 |
| RB101068 | 11 | 22 |
| RB101130 | 11 | - (b) |
| RB041443 | 14 | 22 |
| RB111059 | 24 | 44 |
| RB111072 | s.d. (a) | s.d. |
| RB111064 | s.d. | s.d. |
| RB867515 | s.d. | s.d. |

(a) Abreviação para genótipos sem a doença.

(b) Período de latência não registrado.

Aos 24 DAI a severidade da doença foi avaliada na maioria dos genótipos, com exceção do genótipo RB101130 na folha+1 e RB111059 nas folhas +2 e +3, nas quais a severidade foi avaliada aos 38 e 45 DAI, respectivamente (Figura 3).

Para todas as folhas, houve maior evolução dos sintomas nos genótipos RB021754, RB101056 e RB101046, sendo os maiores incrementos de severidade da doença registrados no intervalo entre 45 e 52 DAI (Figura 3). O genótipo RB111073 apresentou essa mesma tendência, para as folhas +1 e +3, embora a severidade final tenha sido relativamente menor. Nos demais genótipos, o progresso da doença foi menor, com valores de severidade final variando entre 0 e 0,91%.

Em relação às diferentes folhas, os genótipos mais suscetíveis apresentaram maiores valores de severidade na folha +3 (Figura 3-C), com exceção do genótipo RB101056, que apresentou maior valor de severidade final na folha +2 (Figura 3-A).

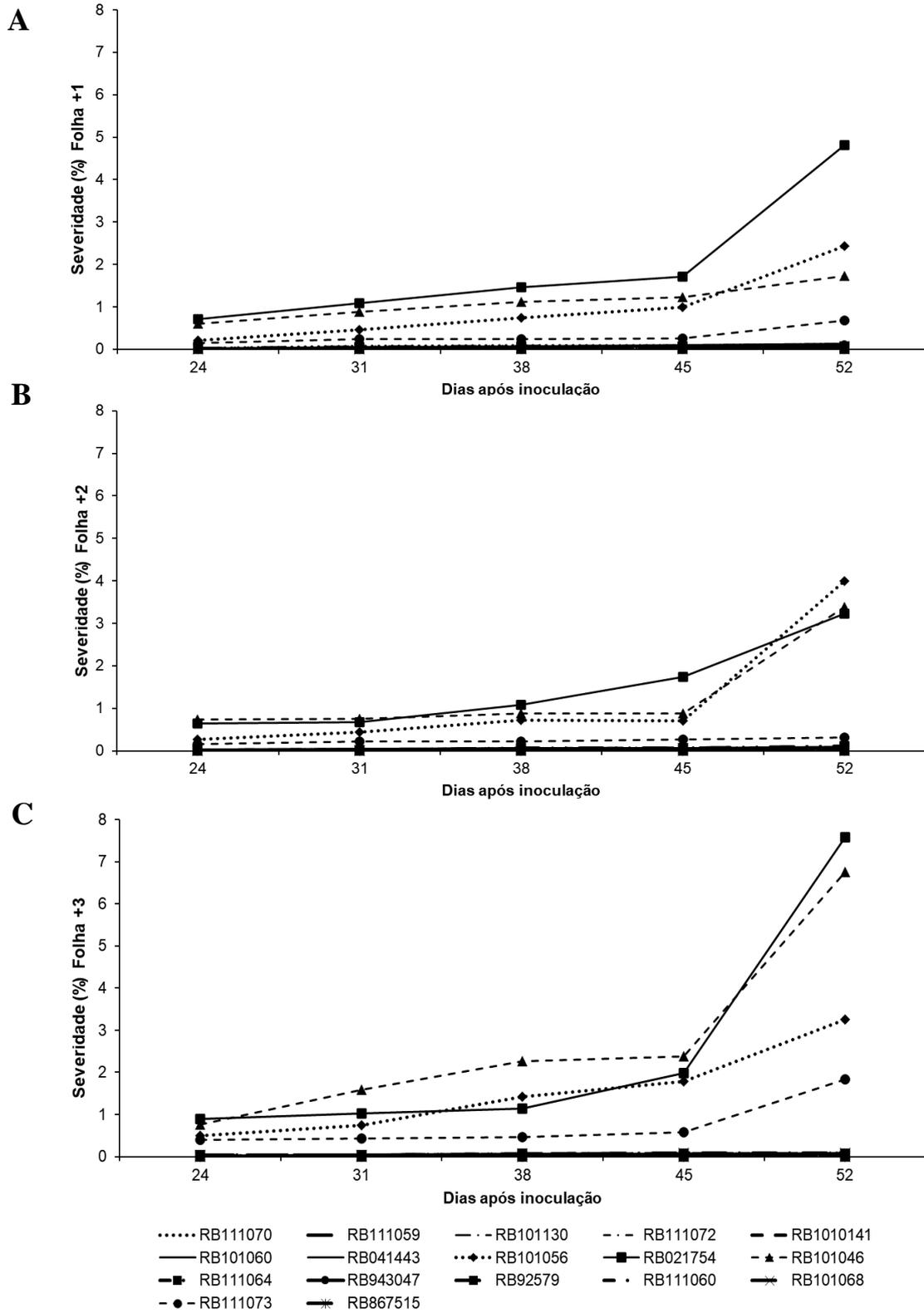


Figura 3. Curvas de progresso da Ferrugem alaranjada para severidade nas folhas +1 (A), +2 (B) e +3 (C), em 17 genótipos de cana-de-açúcar.

Houve diferença significativa entre os genótipos para as variáveis Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade (AACPSV) e severidade final, para as folhas +1, +2 e +3, ($p < 0,05$) (Tabelas 6 e 7). Os valores de AACPSV para as folhas +1 variaram entre 0 e 79,18, para as folhas +2, entre 0 e 28,50, e para as folhas +3, entre 0 e 86,03. A severidade final para as folhas +1 variou entre 0 e 3,25%, para as folhas +2, entre 0 e 3,22%, e para as folhas +3, entre 0 e 5,87%.

Os genótipos foram discriminados em grupos estatísticos para cada folha analisada. Entretanto, independentemente da folha, os genótipos RB101056, RB021754 e RB101046, comportaram-se como os mais suscetíveis em todas as circunstâncias, pois apresentaram os maiores valores de AACPSV, variando entre 20,23 e 86,03, e severidade final, que variou entre 1,73 e 7,58%. Os genótipos RB111064, RB111072 e a variedade RB867515, formaram o grupo que expressou resposta imune à doença, pois não apresentaram sintomas. Embora os genótipos RB111059 e RB101130 não tenham diferido estatisticamente dos genótipos que apresentaram resposta imune à doença, esses genótipos foram classificados como parcialmente resistentes, visto que apresentaram sintomas nas três folhas avaliadas, com exceção para o genótipo RB101130 que não apresentou sintomas na folha +1. Para os demais grupos formados, diferenças na expressão da resistência parcial em maior ou menor nível foram observadas, com valores de AACPSV variando entre 0,05 e 10,0 e severidade final variando entre 0,01 e 0,68%, considerando todas as folhas avaliadas (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6. Valores de Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade (AACPSV) da Ferrugem alaranjada nas folhas +1, +2 e +3 dos 17 genótipos de cana-de-açúcar, em condições de casa de vegetação.

| Genótipos | Folha +1 | | | Folha+2 | | | Folha +3 | | |
|--------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|
| | AACPSV (dados originais) | AACPSV ⁽¹⁾ | | AACPSV (dados originais) | AACPSV ⁽¹⁾ | | AACPSV (dados originais) | AACPSV ⁽¹⁾ | |
| RB021754 | 79,18 | 4,15 | a ⁽²⁾ | 12,4 | 3,48 | ab ⁽²⁾ | 69,42 | 4,17 | a ⁽²⁾ |
| RB101056 | 39,85 | 3,13 | ab | 23,0 | 3,53 | a | 86,03 | 3,79 | a |
| RB101046 | 20,23 | 2,74 | abc | 28,50 | 3,01 | ab | 39,54 | 2,33 | b |
| RB111073 | 10 | 2,12 | bcd | 8,55 | 2,06 | bc | 8,6 | 1,88 | bc |
| RB111070 | 2,90 | 1,22 | cde | 1,62 | 0,86 | cd | 1,88 | 0,91 | cd |
| RB943047 | 1,91 | 1,03 | de | 1,48 | 0,84 | cd | 1,46 | 0,83 | cd |
| RB92579 | 2,27 | 1,03 | de | 1,71 | 0,84 | cd | 2,13 | 1,068 | bcd |
| RB111060 | 1,32 | 0,75 | de | 0,76 | 0,51 | d | 0,58 | 0,41 | d |
| RB041443 | 0,99 | 0,69 | de | 1,54 | 0,79 | cd | 1,15 | 0,67 | cd |
| RB101068 | 0,94 | 0,65 | de | 1,37 | 0,82 | cd | 2,11 | 0,91 | cd |
| RB101060 | 1,68 | 0,65 | de | 1,06 | 0,33 | d | 1,31 | 0,74 | cd |
| RB101041 | 1,34 | 0,62 | de | 1,23 | 0,43 | d | 1,92 | 0,99 | bcd |
| RB111059 | 0,31 | 0,24 | e | 0,05 | 0,05 | d | 0,26 | 0,20 | d |
| RB101130 | 0 | 0 | e | 0,10 | 0,08 | d | 0,63 | 0,31 | d |
| RB111064 | 0 | 0 | e | 0 | 0 | d | 0 | 0 | d |
| RB111072 | 0 | 0 | e | 0 | 0 | d | 0 | 0 | d |
| RB867515 | 0 | 0 | e | 0 | 0 | d | 0 | 0 | d |
| Média | 9,58 | | | 4,90 | | | 12,77 | | |

⁽¹⁾ Dados transformados por $\ln(x+1)$.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 7. Valores de severidade final da Ferrugem alaranjada nas folhas +1, +2 e +3 dos 17 genótipos de cana-de-açúcar, 52 dias após inoculação em condições de casa de vegetação.

| Genótipos | Folha +1 | | | Folha+2 | | | Folha +3 | | |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------|
| | Sev. Final (dados originais) | Sev. Final ⁽¹⁾ | | Sev. Final (dados originais) | Sev. Final ⁽¹⁾ | | Sev. Final (dados originais) | Sev. Final ⁽¹⁾ | |
| RB021754 | 3,25 | 1,42 | a ⁽²⁾ | 3,22 | 1,17 | a ⁽²⁾ | 5,87 | 2,03 | a ⁽²⁾ |
| RB101056 | 2,00 | 1,40 | a | 2,44 | 1,29 | a | 3,25 | 1,62 | a |
| RB101046 | 1,73 | 0,83 | ab | 2,03 | 1,09 | ab | 4,59 | 0,31 | b |
| RB111073 | 0,67 | 0,41 | bc | 0,31 | 0,26 | abc | 0,30 | 0,25 | b |
| RB943047 | 0,12 | 0,11 | c | 0,07 | 0,06 | bc | 0,06 | 0,06 | b |
| RB111070 | 0,12 | 0,10 | c | 0,07 | 0,06 | bc | 0,09 | 0,08 | b |
| RB041443 | 0,07 | 0,08 | c | 0,04 | 0,04 | c | 0,05 | 0,04 | b |
| RB111060 | 0,07 | 0,08 | c | 0,05 | 0,04 | c | 0,03 | 0,03 | b |
| RB101068 | 0,08 | 0,06 | c | 0,07 | 0,06 | bc | 0,08 | 0,07 | b |
| RB92579 | 0,08 | 0,06 | c | 0,11 | 0,09 | bc | 0,07 | 0,06 | b |
| RB101060 | 0,03 | 0,04 | c | 0,04 | 0,04 | c | 0,06 | 0,05 | b |
| RB101041 | 0,05 | 0,03 | c | 0,06 | 0,05 | bc | 0,06 | 0,06 | b |
| RB111059 | 0,01 | 0,01 | c | 0,01 | 0,01 | c | 0,01 | 0,01 | b |
| RB101130 | 0 | 0 | c | 0,01 | 0,01 | c | 0,04 | 0,03 | b |
| RB111064 | 0 | 0 | c | 0 | 0 | c | 0 | 0 | b |
| RB111072 | 0 | 0 | c | 0 | 0 | c | 0 | 0 | b |
| RB867515 | 0 | 0 | c | 0 | 0 | c | 0 | 0 | b |
| Média | 0,49 | | | 0,50 | | | 0,86 | | |

⁽¹⁾ Dados transformados por $\ln(x+1)$.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Houve diferença significativa entre os genótipos para as variáveis Área Abaixo da Curva de Progresso do Número de Pústulas (AACPNP) e número final de pústulas, por folha. Os valores de AACPNP variaram entre 0 e 367,2 para folha +1, entre 0 e 598,77 para a folha +2, e para a folha +3 entre 0 e 266,87 (Tabela 8). O número de pústulas final variou entre 0 e 6,55 para a folha +1, entre 0 e 13,33 para a folha +2, e entre 0 e 9,16 para a folha +3 (Tabela 9).

Considerando as três folhas avaliadas, também houve a formação de agrupamentos para AACPNP e número final de pústulas. Os genótipos RB101056, RB111046, RB021754 diferiram significativamente entre si, para as folhas +1 e +3, exceto para a folha +2, na qual os genótipos RB021754 e RB101046 foram estatisticamente iguais. Com isso, assumiu-se que os genótipos formaram três grupos de suscetibilidade por apresentarem valores de AACPNP variando entre 91,88 e 454,68, e número final de pústulas variando entre 2,33 e 10,58, que distanciaram-se mais dos valores dos outros genótipos. Os genótipos RB111064, RB111072 e RB867515 apresentaram resistência do tipo imune, pois não manifestaram nenhuma pústula por cm². Os genótipos RB101130 e RB111059 formaram o grupo com maior nível de resistência parcial. Os valores de AACPNP nesses genótipos variaram entre 0 e 25, e o número de pústulas final, entre 0 e 0,92. Os demais genótipos foram classificados em grupos com diferentes níveis de expressão da resistência parcial, com AACPNP variando entre 24,38 e 148,12, e o número de pústulas final variando entre 0,66 e 3,67.

Notou-se concordância entre as variáveis número de pústulas e AACPNP para os agrupamentos estatísticos dos genótipos nas folhas avaliadas, principalmente em relação aos genótipos que não apresentaram pústula. Para o número de pústulas, a folha +2 apresentou os maiores valores de AACPNP.

Tabela 8. Valores de Área Abaixo da Curva de Progresso do Número de Pústulas (AACPNP) da Ferrugem alaranjada nas folhas +1, +2 e +3 dos 17 genótipos de cana-de-açúcar em condições de casa de vegetação.

| Genótipos | Folha +1 | | | Folha+2 | | | Folha +3 | | |
|--------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|
| | AACPNP (dados originais) | AACPNP ⁽¹⁾ | | AACPNP (dados originais) | AACPNP ⁽¹⁾ | | AACPNP (dados originais) | AACPNP ⁽¹⁾ | |
| RB101056 | 362,5 | 5,88 | a ⁽²⁾ | 400,00 | 5,94 | ab ⁽²⁾ | 151,25 | 4,88 | ab ⁽²⁾ |
| RB021754 | 367,2 | 5,46 | ab | 598,77 | 6,31 | a | 111,25 | 3,72 | abc |
| RB943047 | 97,50 | 4,43 | ab | 70,62 | 3,88 | abc | 73,75 | 3,98 | abc |
| RB101046 | 91,88 | 4,29 | ab | 565,83 | 6,33 | a | 266,87 | 5,83 | a |
| RB111060 | 70,00 | 3,27 | abc | 70,00 | 3,39 | abcd | 73,13 | 3,41 | abcd |
| RB101041 | 25,00 | 3,20 | abc | 33,75 | 2,74 | bcd | 78,75 | 4,13 | abc |
| RB101068 | 24,38 | 3,20 | abc | 60,00 | 4,08 | abc | 55,62 | 3,69 | abc |
| RB111073 | 28,75 | 3,20 | abc | 155,83 | 4,56 | ab | 71,87 | 4,11 | abc |
| RB041443 | 33,75 | 2,63 | abc | 83,44 | 3,33 | abcd | 16,25 | 1,14 | cd |
| RB101060 | 39,38 | 2,16 | abc | 45,63 | 3,68 | abc | 44,37 | 3,70 | abc |
| RB111070 | 36,87 | 2,07 | abc | 103,75 | 2,55 | bcd | 148,12 | 4,04 | abc |
| RB92579 | 28,12 | 1,91 | bc | 65,00 | 4,07 | abc | 46,25 | 3,66 | abc |
| RB111059 | 20,00 | 1,83 | bc | 0 | 0 | d | 25,00 | 1,96 | bcd |
| RB101130 | 0 | 0 | c | 2,50 | 0,59 | cd | 14,37 | 1,01 | cd |
| RB111064 | 0 | 0 | c | 0 | 0 | d | 0 | 0 | d |
| RB111072 | 0 | 0 | c | 0 | 0 | d | 0 | 0 | d |
| RB867515 | 0 | 0 | c | 0 | 0 | d | 0 | 0 | d |
| Média | 72,08 | | | 132,65 | | | 69,23 | | |

⁽¹⁾ Dados transformados por $\ln(x+1)$.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 9. Número de pústulas final (NP) da Ferrugem alaranjada por cm² nas folhas +1, +2 e +3 dos 17 genótipos de cana-de-açúcar, 60 dias após inoculação.

| Genótipos | Folha +1 | | Folha+2 | | Folha +3 | |
|--------------|--|-----------------------|--|-----------------------|--|------------------------|
| | N. de Pústula final (dados originais) | NP ⁽¹⁾ | N. de Pústula final (dados originais) | NP ⁽¹⁾ | N. de Pústula final (dados originais) | NP ⁽¹⁾ |
| RB101056 | 6,55 | 2,01 a ⁽²⁾ | 8,25 | 2,24 a ⁽²⁾ | 3,17 | 1,37 ab ⁽²⁾ |
| RB021754 | 4,33 | 1,66 ab | 3,00 | 1,92 ab | 2,75 | 1,12 abc |
| RB101046 | 2,33 | 1,13 abc | 13,33 | 2,29 a | 9,16 | 2,21 a |
| RB943047 | 1,67 | 0,98 abcd | 1,74 | 0,91 abc | 2,58 | 1,09 abc |
| RB111060 | 1,83 | 0,85 bcd | 1,75 | 0,90 abc | 2,17 | 1,01 abc |
| RB041443 | 1,00 | 0,62 bcd | 1,75 | 0,82 abc | 1,75 | 0,66 bc |
| RB101060 | 1,25 | 0,62 bcd | 1,25 | 0,70 abc | 1,25 | 0,78 bc |
| RB101068 | 0,75 | 0,54 cd | 1,67 | 0,94 abc | 1,25 | 0,71 bc |
| RB111073 | 0,66 | 0,45 cd | 2,99 | 1,56 abc | 1,58 | 0,87 abc |
| RB101041 | 0,66 | 0,44 cd | 1,00 | 0,60 bc | 1,75 | 0,93 abc |
| RB92579 | 0,66 | 0,37 cd | 1,67 | 0,89 abc | 0,92 | 0,51 bc |
| RB111059 | 0,50 | 0,33 cd | 0 | 0 c | 0,92 | 0,52 bc |
| RB111070 | 0,42 | 0,30 cd | 2,50 | 0,86 abc | 3,67 | 1,33 abc |
| RB101130 | 0 | 0 d | 0,08 | 0,07 c | 0,42 | 0,24 bc |
| RB111064 | 0 | 0 d | 0 | 0 c | 0 | 0 c |
| RB111072 | 0 | 0 d | 0 | 0 c | 0 | 0 c |
| RB867515 | 0 | 0 d | 0 | 0 c | 0 | 0 c |
| Média | 1,33 | | 2,41 | | 1,96 | |

⁽¹⁾ Dados transformados por $\ln(x+1)$.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

DISCUSSÃO

Reação dos genótipos à Ferrugem marrom em campo

As condições ambientais encontradas durante os meses de avaliação foram favoráveis à ocorrência da Ferrugem marrom em genótipos suscetíveis, com temperaturas mínimas e máximas entre os meses de avaliação variando entre 19,05°C e 33,05°C. A germinação do patógeno é favorecida por temperaturas entre 21 °C e 26 °C e umidade relativa do ar entre 80 e 98% (PURDY et al., 1983; SANDOVAL et al., 1983; RAID; COMSTOCK, 2006; GIGLIOTI et al., 2009). A umidade foliar e a temperatura por tempo suficiente, são requeridas para o desenvolvimento da doença. Temperaturas relativamente baixas foram observadas entre junho e agosto. Provavelmente, essa condição, associada a índices pluviométricos satisfatórios nos meses anteriores, criou microclima favorável para maior produção de inóculo e ocorrência de infecções nas semanas subsequentes, favorecendo assim, o aumento da taxa de progresso da doença em genótipos suscetíveis.

Entretanto, a redução das chuvas a partir de setembro pode ter contribuído para manter os níveis de severidade estáveis ou com evolução lenta nos genótipos com resistência parcial. Além disso, é sustentada a hipótese de resistência de planta adulta nesse patossistema. Segundo Tokeshi e Rago (2016), a suscetibilidade da cana-de-açúcar à Ferrugem marrom varia de acordo com o estágio de desenvolvimento das plantas, sendo maior entre dois e seis meses. Ido et al. (2006) verificaram maiores escores de severidade da Ferrugem marrom aos quatro meses de idade no ciclo cana-planta. Todavia, essa condição provavelmente é válida apenas para genótipos com algum grau de resistência, pois o genótipo suscetível RB101041 do presente estudo, apresentou progresso expressivo da doença, até os 12 meses de idade das plantas.

De forma geral, houve concordância entre as estatísticas para as variáveis AACPFM e severidade final da doença. Nessas circunstâncias, pode-se optar pelo uso da variável severidade final, ao invés da AACPD, por ser menos laboriosa. É recomendável ainda, avaliar a concordância entre a severidade da doença em intervalos de tempo menores com a AACPD, o que permite acelerar a seleção de genótipos promissores em programas de melhoramento, em relação à avaliação da AACPD por todo o ciclo da cultura.

No presente estudo, foi obtida correlação de 99% entre as variáveis AACPD e severidade, nos meses de agosto e setembro. Considerando esse valor, a seleção de genótipos

resistentes à Ferrugem marrom poderia ser realizada em menor intervalo de tempo, sem maiores prejuízos. Todavia, é importante enfatizar que mudanças nas condições do experimento, como época de plantio, regime hídrico da região, temperatura, pressão de inóculo e outros fatores, podem alterar esses valores. Quando esses fatores atrasam o desenvolvimento da doença na cultura, pode ocorrer diminuição dos valores dos coeficientes de correlação nas avaliações iniciais, conforme observado por Ido et al. (2006).

No presente estudo, houve resposta diferencial entre os genótipos de cana-de-açúcar para a Ferrugem marrom. As diferenças significativas evidenciadas pela AACPFM e severidade final, indicaram a expressão de resposta imune para quatro genótipos, níveis de resistência parcial para 12 genótipos e suscetibilidade para um genótipo.

Os genótipos RB111070, RB101130, RB101068 e RB041443 que expressaram resposta imune ao patógeno tiveram comportamento estável ao longo das avaliações, não apresentando evidências de qualquer sintomatologia da doença em suas folhas. Em relação ao patossistema cana-de-açúcar x Ferrugem marrom, diversos estudos evidenciam a associação de um gene de efeito maior (*Bru 1*), conferindo resistência em variedades de cana-de-açúcar à essa doença (DAUGROIS et al., 1996; BARRETO et al., 2017; COSTET et al., 2012; ASNAGHI et al., 2003; ZHANG et al., 2021). Entretanto, são necessários estudos moleculares para evidenciar os genes responsáveis pela imunidade nos genótipos da presente pesquisa. Oloriz et al. (2018) observaram respostas de hipersensibilidade ao redor do local de penetração de *P. melanocephala* no genótipo resistente, IBP 8518. Para os autores, a resistência desse genótipo é atuante após a penetração estomática de *P. melanocephala*, na qual se observa crescimento limitado do haustório devido à morte da célula hospedeira, o que impede o desenvolvimento de estruturas fúngicas. Interações incompatíveis no patossistema *P. melanocephala* x cana-de-açúcar também foram observadas por Sotomayor et al. (1983). Portanto, esses genótipos são considerados os mais promissores para utilização em trabalhos futuros visando controle da Ferrugem marrom.

Nos genótipos RB021754, RB867515, RB111059, RB111072, RB943047 e RB101046, os resultados indicaram bons níveis de resistência quantitativa, a qual possivelmente foi responsável por considerável redução da severidade final e conseqüentemente da AACPFM, quando comparados aos genótipos suscetíveis. Essas observações corroboram com as constatadas por Borella et al. (2021) e Hoy et al. (2014), que classificaram genitores com resistência quantitativa, em avaliações de campo, como intermediários à Ferrugem marrom, devido o desenvolvimento de poucas lesões e evolução lenta da doença ao longo das avaliações, com valores de severidade mais baixos quando

comparados aos genitores suscetíveis. Segundo Camargo (2018), a resistência quantitativa leva a apresentação de graus intermediários de resistência, com progresso da doença sendo gradativo.

Os genótipos RB867515 (padrão resistente) e RB92579 (padrão intermediário), apresentaram resistência parcial no presente estudo. Em estudo realizado por Barreto et al. (2017), esses genótipos também foram classificados como resistentes à doença. No entanto, a variedade RB92579 apresentou menor nível de resistência parcial e valores mais elevados de AACPFM e severidade quando comparada a RB867515. Essas diferenças nos níveis de severidade entre os genótipos podem ser atribuídas a fatores como pressão de inóculo, variabilidade genética da população do patógeno e favorabilidade do ambiente.

Reação dos genótipos à Ferrugem alaranjada em campo

Em relação a curva de progresso da Ferrugem alaranjada, a maioria dos genótipos registraram início dos sintomas entre o sexto e sétimo mês de idade em cana-planta (abril a junho), com crescimento mais acentuado das curvas a partir dos sete meses de idade. Durante os meses de menor precipitação (setembro a dezembro), a doença manteve crescimento exponencial, até atingir picos de severidade aos 12 meses (novembro a dezembro), revelando a maior agressividade desse patógeno. Comportamento semelhante foi constatado por Magarey (2000), que afirma que as maiores severidades da Ferrugem alaranjada ocorrem a partir do meio do ciclo da cultura até a sua maturação. Embora, Klosowski et al. (2015), sugeriram que o progresso da doença não está apenas relacionado ao estágio fenológico e à época do ano, mas é altamente dependente das condições climáticas locais.

A Ferrugem alaranjada prevalece em condições de alta umidade relativa do ar e temperatura entre 19°C e 26°C (FERRARI et al., 2013). No presente estudo, o mês que apresentou a maior severidade da Ferrugem alaranjada registrou temperaturas mínimas e máxima 23,05 °C e 32,05°C. Embora alguns autores não tenham verificado a ocorrência da doença em temperatura de 27,5°C (MARTINS, 2010; LIMA et al., 2017), Minchio et al. (2017) observaram germinação de urediniosporos de *P. kuehni* sob temperaturas de 25 a 30 °C. Vale salientar que durante os meses que foram verificados incrementos de severidade na maioria dos genótipos (julho e agosto), as temperaturas mínimas e máximas foram entre 19,05°C e 27,05°C. Diante disso, as condições apresentadas durante todo o estudo prevaleceram para o desenvolvimento da doença, visto que a temperatura variou entre 19,05 °C e 33,05°C.

Cabe salientar que além dessas variáveis climáticas, a precipitação tem papel chave na ocorrência da Ferrugem alaranjada, mantendo a umidade foliar e as horas de molhamento foliar necessárias para ocorrência da infecção. Segundo Urashima et al. (2018), o período prolongado de molhamento foliar ocorre nas folhas inferiores, visto que a chuva lava os esporos das folhas superiores, porém as folhas inferiores se mantêm protegidas, prolongando esse período. Esse fato pode explicar os incrementos da doença nos períodos de menor precipitação para a maioria dos genótipos, pois a folha +3, por ser uma das folhas inferiores, poderia permanecer com período de molhamento foliar prolongado.

Em relação às doenças abordadas no presente estudo, as curvas de progresso apresentaram algumas semelhanças. No entanto, a Ferrugem alaranjada exibiu picos de severidade mais altos em relação à Ferrugem marrom.

Padrões distintos de reações foram observados entre os 17 genótipos de cana-de-açúcar à *P. kuehni*. Com isso, três genótipos apresentaram resistência do tipo imune à doença, 13 expressaram níveis de resistência parcial e um genótipo foi suscetível.

A resposta imune a Ferrugem alaranjada foi observada nos genótipos RB101130, RB111070 e RB111072. Esses genótipos são considerados promissores para serem lançados futuramente como variedades pelos programas de melhoramento genético da cultura. Ao contrário do que foi descrito para a Ferrugem marrom, os genes que conferem resistência à Ferrugem alaranjada ainda não são conhecidos. No entanto, alguns autores sugerem que a resistência à *P. kuehni* é controlada por um gene de efeito maior em conjunto com vários genes de efeito menor (KLOSOWSKI et al., 2013).

Dentre os genótipos que apresentaram resistência parcial, as variedades padrão resistentes RB867515 e RB041443 se destacaram por apresentaram os mais altos níveis de resistência parcial. A variedade RB867515 é uma das mais plantadas nas áreas canavieiras brasileiras, devido ao seu comportamento quanto à Ferrugem alaranjada (BRAGA JUNIOR et al., 2021). Em diversos estudos essa variedade manteve seu padrão de resistência à doença, apresentando expressão estável da resistência quantitativa em diferentes locais (KLOSOWSKI et al., 2015; CHAPOLA et al., 2016; MOREIRA et al., 2018).

Klosowski et al. (2015) avaliaram a reação de variedades RB em cana-planta e cana-soca. Dentre as variedades estudadas, RB92579 não apresentou sintomas da Ferrugem alaranjada e foi considerada altamente resistente à doença. Os resultados obtidos no presente estudo inferiram que a variedade RB92579 não foi altamente resistente, pois atingiu um dos valores de severidade mais elevados entre os genótipos e apresentou menor resistência parcial. Já Araújo et al. (2013) observaram sintomas da doença na variedade RB92579 em

condições de infecção natural do patógeno no município de Valparaíso-SP. Os autores classificaram o genótipo como moderadamente resistente, visto que apresentou AACPD menor em relação aos genótipos classificados como mais suscetíveis. Essa informação corrobora com os resultados do presente estudo. Contudo, vale destacar que a diferença de comportamento da RB92579 pode estar associada às diferenças climáticas regionais em que os estudos foram realizados ou a maior pressão de inóculo, no presente estudo. Além desses fatores, há de se considerar a possibilidade de variabilidade patogênica, uma vez que mudanças a nível de raça do patógeno já foram descritas no Brasil (MISTURA et al., 2016; MOREIRA et al., 2018; URASHIMA et al., 2020). A mudança de reação da variedade RB021754 (padrão resistente), que apresentou reação típica de genótipo suscetível, também pode estar atrelada a esses fatores.

Os genótipos considerados parcialmente resistentes à Ferrugem alaranjada no presente estudo, apresentaram sintomas semelhantes aos dos genótipos suscetíveis, porém com níveis menos acentuados de severidade, menor evolução da doença e conseqüentemente menores danos causado pela infecção, comportamento típico de resistência parcial (JULIATTI; MORAIS, 2019).

As análises de correlação entre a AACPD e as avaliações mensais de severidade indicaram valores de correlação acima de 90% a partir do sexto mês de avaliação. . Dessa forma, verifica-se a possibilidade de antecipar a seleção de genótipos, sem maiores prejuízos.

Reação dos genótipos em casa de vegetação

Os períodos de incubação obtidos entre os genótipos variaram entre 7 e 24 dias, enquanto os de latência variaram entre 15 e 44 dias. Períodos de incubação e de latência mais curtos foram observados por Moreira et al. (2018) para a Ferrugem alaranjada, quando comparados aos do presente estudo. No entanto, a maior ou menor duração do período latente pode estar relacionada a modificações na temperatura e umidade foliar, pois essas variáveis atuam no processo de colonização do patógeno, tanto em ambiente controlado como em campo (HUBER; GILLESPIE, 1992), o que pode explicar a diferença entre os estudos.

Gómez (2013) confirma a influência da temperatura nos estágios iniciais da Ferrugem alaranjada. O autor constatou que sob temperatura de 25°C os períodos de incubação e latência foram mais curtos e sob temperatura de 18 °C esses períodos foram mais longos. Segundo Martins (2010), altas temperaturas e longos períodos de molhamento

foliar reduzem o período latente da Ferrugem alaranjada, agilizam o seu ciclo na cultura e aumentam a intensidade da epidemia.

No presente estudo, os genótipos RB101056, RB021754 e RB101046 que apresentaram os menores períodos de incubação e latência, conseqüentemente destacaram-se como os mais suscetíveis à Ferrugem alaranjada fato que confirma que a duração do período latente reflete em maior número de ciclos de reprodução do patógeno durante o ciclo da cultura, resultando em maior intensidade da doença (MENDONÇA et al., 2019; ANGELOTTI; GHINI; BETTIOL, 2017). Estudos apontam a ocorrência de períodos de incubação e de latência mais curtos em variedades de cana-de-açúcar suscetíveis e mais longos em variedades resistentes (KLOSOWSKI et al., 2015; MOREIRA et al., 2002). Conseqüentemente, espera-se resistência baixa de genótipos com períodos de incubação e latência curtos, e alta quando esses períodos são mais longos (KRANZ, 2002), corroborando com o que foi constatado no presente estudo. Com isso, o nível de resistência parcial pode explicar os comportamentos dos genótipos RB041443, RB101130 e RB101059, que apresentaram períodos de incubação e latência mais longos, (KRANZ, 1996; WANG; HARTMAN, 1992)

A AACPD foi considerada fator importante na diferenciação das variedades à Ferrugem alaranjada em casa de vegetação. A AACPD é útil para revelar pequenas diferenças de severidade e níveis de resistência (THOMÉ et al., 1999), assim como foi observado por Zenerato (2017) em variedades de cana-de-açúcar com diferentes reações à *P. kuehnii*.

Houve concordância entre o progresso da doença observado em condições de campo e em casa de vegetação. A maioria dos genótipos apresentaram comportamento semelhante ao observado em campo, exceto a variedade RB867515 e o genótipo RB111064, que apresentaram resposta imune em casa de vegetação. O contrário foi observado para o genótipo RB111070, que foi completamente resistente em campo, e em casa de vegetação comportou-se como parcialmente resistente. A maior pressão de inóculo em condições de infecção natural do patógeno pode ter levado essas variedades a desenvolverem sintomas, corroborando com Klosowski et al. (2015).

Em relação ao número de pústulas, a maioria foi observada na face abaxial da folha, assim como constatado por Klosowski et al. (2015), Infante et al. (2009) e Magarey (2000). De acordo com James (2004), a maior ocorrência das pústulas nessa região indica maior infecção de *P. kuehnii* por estômatos. Vale ressaltar que foram realizadas apenas quatro avaliações para número de pústulas, pois na última avaliação, a contagem foi dificultada devido a coalescência das pústulas na maioria das plantas.

Klosowski et al. (2015) contabilizaram o número de pústulas na variedade RB72454 e estimaram ao final das avaliações uma média de 12,4 pústulas por cm², nas folhas +1, +2 e +3. A média estimada foi muito superior aos valores constatados nesse estudo, considerando os genótipos mais suscetíveis, que apresentaram número médio de pústulas por cm², variando entre 4,03 e 9,25, para as mesma folhas avaliadas pelos autores. No entanto, é importante ressaltar que a variedade RB72454 encontra-se entre as mais suscetíveis ao patógeno, o que pode ter influenciado na gravidade das lesões (ARAÚJO et al., 2013; CHAPOLA et al., 2016). Além disso, fatores intrínsecos como idade das plantas no momento de inoculação, tempo de condução do experimento e condições ambientais locais, podem ter contribuído para a diferença constatada entre os estudos.

Com isso, os genótipos que expressaram resposta imune neste estudo, poderão ser utilizados em trabalhos futuros visando o controle genético das Ferrugem marrom e Ferrugem alaranjada, podendo ser recomendados como variedades comerciais ou para o uso em programas de melhoramento da cana-de-açúcar visando a transferência de suas características em cruzamentos. Além disso, é recomendável que esses genótipos sejam testados quanto à estabilidade da produtividade e resistência a essas doenças em ambientes diversos, para serem considerados variedades promissoras.

Cabe salientar ainda, que não descarta-se a utilização dos genótipos que apresentaram níveis satisfatórios de resistência quantitativa, uma vez que esses genótipos também poderão ser utilizados em cruzamentos, de forma a acumular mais componentes favoráveis nas progênies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CARDOSO, C.; MORAES, V. A.; FERNANDES, C. R. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*). **Boletim Técnico Copersucar**. v.39, p.13-16, 1987.
- ANGELOTTI, F.; GHINI, R.; BETTIOL, W. Como o aumento da temperatura interfere nas doenças de plantas?. **Australasian Plant Pathology**, v.93, n.1 p-9 13, 2017.
- ARAÚJO, K. L.; CANTERI, M. G.; GILIO, T. A. S.; NEUBAUER, R. A.; SANCHES, P. B.; SUMIDA, C. H.; GIGLIOTI, É. A. Resistência genotípica e monitoramento da favorabilidade para ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Summa Phytopathologica**, v.39, p.271-274, 2013.
- ASNAGHI, C.; ROQUES, D.; RUFFEL, S.; KAYE, C.; HOARAU, J. Y.; TÉLISMART. H.; GIRARD, J. C.; RABOIN, L. M.; RISTERUCCI, A. M.; GRIVET, L.; D'HONT, A. Targeted mapping of a sugarcane rust resistance gene (*Bru1*) using bulked segregant analysis and AFLP markers. **Theoretical and Applied Genetics**. v.108, n.4, p.759-64, 2003.
- AVELLANEDA, M. C.; PARCO, A. P.; HOY, J. W.; BAISAKH. N. Putative resistance-associated genes induced in sugarcane in response to the brown rust fungus, *Puccinia melanocephala* and their use in genetic diversity analysis of Louisiana sugarcane clones. **Plant Gene**. v.14, p. 20-28, 2018.
- BARBASSO, H. D.; MACCHERONI, W. J. J.; BOLDINI, J.; BRESSIANI. J.; CANAVIALIS, S. A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, v. 94, n.9, pg. 1170-1170, 2010.
- BARRETO, F. Z.; BALSALOBRE, T. W. A.; CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; CARNEIRO, M. S. Validação de marcadores moleculares associados à resistência à Ferrugem marrom em cana-de-açúcar. **Summa Phytopathologica**, v.43, p.36-40, 2017.
- BARROS, I.; THORBURN, P. J.; BIGGS, J. S.; RESENDE, R. S.; MARAFON, A. C. **Uso eficiente de recursos naturais e insumos no cultivo da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas**. Comunicado Técnico 216 – Embrapa. Aracaju SE, dezembro, 2018.
- BRAGA JUNIOR, R. L. C.; LANDELL, M. G. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T.; SILVA, V. H. P.; LUZ, A. M.; ANJOS, I. A. Censo varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil - safra 2018/19 e na região centro-sul - SAFRA 2019/20, **Boletim técnico**, 225, IAC, 2021.
- CAMARGO, L. E. A. Genética da interação patógeno-hospedeiro. In Manual de Fitopatologia, 5th ed São Paulo: **Agronômica Ceres**, v.1, p. 85–92, 2018.
- CHAPOLA, R.G.; HOFFMANN, H.P.; MASSOLA JR, N.S. Reaction of sugarcane varieties to orange rust (*Puccinia kuehnii*) and methods for rapid identification of resistant genotypes. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v.41, p.139-146, 2016.
- CHEN, Q. H.; WANG, Y. C.; ZHENG, X. B. Genetic diversity of *Magnaporthe grisea* in China as revealed by DNA fingerprint haplotypes and pathotypes. **Journal of Phytopathology**,

v. 154, n. 6, p. 361-369, 2006.

CLAIR, D. A. Quantitative disease resistance and quantitative resistance loci in breeding. **Annual Revist Phytopathology**. v.48, p. 247–268, 2010.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v. 7 - Safra 2020/21, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-58 Maio de 2021.

COSTET, L.; LE CUNFF, L.; ROYAERT, S.; RABOIN, L. M.; HERVOUET, C.; TOUBI, L.; TELISMART, H.; GARSMEUR, O.; ROUSSELLE, Y.; PAUQUET, J.; NIBOUCHE, S.; GLASZMANN, J. C.; HOARAU, J. Y.; D'HONT, A. Haplotype structure around *Bru1* reveals a narrow genetic basis for brown rust resistance in modern sugarcane cultivars. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 125, n.5, p.825-836, 2012

DAUGROIS, J.; GRIVET, L.; ROQUES, D.; HOARAU, J.; LOMBARD, H.; GLASZMANN, J.; D'HONT, A. A putative major gene for rust resistance linked with a RFLP marker in sugarcane cultivar 'R570'. **Theoretical and Applied Genetics**, v.92, p.1059–1064, 1996.

FERRARI, J. T.; R. HARAKAVA, R. J.; DOMINGUES, I. M. L.; TERÇARIOL, J. G. T. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil**. Instituto Biológico, São Paulo, v.75, n.1, p.71-74, 2013.

GARCIA, E. O.; CASAGRANDE, M. V.; RAGO, A. M.; MASSOLA JUNIOR, N. S. Preservação de urediniósporos de *Puccinia melanocephala*, agente causal de ferrugem em cana-de-açúcar. **Summa Phytopathologica**, v.33, p.152-156, 2007.

GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J.; REZENDE, C.; HANADA, R. E.; CASTRO, J., A. A. J. C.; ÂNGELO, P. C. S. **Glossário de fitopatologia**. 3. ed. rev. atual. - Brasília, DF: Embrapa, 2017. GIGLIOTI, E. A.; CANTERI, M. G.; FRANÇA, J. A.; CARDIM, M.; DEL PONTE, E. M.; ABI SAAD, O. Informações básica para o monitoramento, diagnóstico e manejo da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Boletim técnico SCORALERT**, v. 25, n.1, p.1-6, 2009.

GÓMEZ, S. G. P. **Quantificação de parâmetros monocíclicos da ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*) em cana-de-açúcar** - Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo, 2013.

HOEPERS, L. M. L.; FIORI-TUTIDA, A. C. G.; RUARO, L.; CALEGARIO, R. F.; OLIVEIRA, R. A.; DUARTE, H. D. S. S. Reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada por inoculação no cartucho foliar. **Ciência Rural**, v. 50, n.7, 2020.

HOY, J. W.; AVELLANEDA, M. C.; BOMBECINI, J. Variabilidade na patogenicidade e resistência de *Puccinia melanocephala* em cultivares de cana-de-açúcar. **Plant Disease**. v.98, n. 12, p.1728-1732, 2014.

HOY, J. W.; HOLLIER, C. A. Effect of brown rust on yield of sugarcane in Louisiana. **Plant Disease**, v. 93, n. 11, p. 1171-1174, 2009.

IDO, O. T.; LIMA-NETO, V.C.; DAROS, E.; POSSAMAI, J.C.; ZAMBON, J.L.C.; WEBER, H.; OLIVEIRA R.A. Incidência e gravidade da ferrugem em clones de cana-de-açúcar no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.3, p. 159–163, 2006.

INFANTE, D.; MARTINEZ, B.; GONZALEZ, E.; 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.

JAMES, G. L. An introduction to sugarcane. In: JAMES, G. L. **Sugarcane**. 2.ed. v. 1. **Oxford: Blackwell Science**, p. 1-19, 2004.

JULIATTI, F. C.; MESQUITA, A. C. O.; TEIXEIRA, F. G.; BELOTI, I. F.; MOTA, L. C. B. M. FONSECA, L. J.; MORAIS, T. P. D. Caracterização de genótipos de soja com resistência parcial à ferrugem da soja. **Summa Phytopathologica**, v.45, p.313-319, 2019.

KLOSOWSKI, A. C.; BESPALHOK FILHO, J. C.; RUARO, L.; FRAGOSO, R. B.; MAY DE MIO, L. L. Reação de cultivares e época de avaliação da Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.31, n. 2, p.489-498, 2015.

KLOSOWSKI, A.; BESPALHOK, J.; RUARO, L.; MAY-DE MIO, L. Inheritance of Resistance to Orange Rust (*Puccinia kuehnii*) in Sugarcane Families from Crosses Between Parents with Different Orange Rust Reactions. **Sugar Tech**, 2013.

KRANZ, J. Comparative Epidemiology of Plant Diseases. **Springer**. Nova York, EEUU. 206 pp, 2002.

KRANZ, J. Epidemiologie der Pflanzenkrankheiten. **Eine Einführung**. Stuttgart. Ulmer. 1996.
LEHMAN, J. S.; HANSON, K. A.; SHANER, G. Relationship among genes conferring partial resistance to leaf rust (*Puccinia triticina*) in wheat lines CI 13227 and L-574-1. **Phytopathology** v.95, p.198-205, 2005.

LIMA, L. L. D.; SCALOPPI, É. A. G.; BARRETO, L. F.; BARRETO, E. M. Temperaturas e períodos de molhamento foliar no desenvolvimento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*). **Summa Phytopathologica**, v.23, p. 132–135, 2017.

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

MAGAREY, R.C. **Orange rust**. In: ROTT, P.; BAILEY, R. A.; COMSTOCK, J. C.; CROFT, B. J.; GIRARD, J. C.; SAUMTALLY, A. S. A guide to sugarcane diseases. Montpellier: La Librairie du Cirad. p. 121-125, 2000.

MARTINS, T. D. **Aspecto epidemiológico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**, 65f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MARTINS, T.D. **Aspecto epidemiológico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 65f, 2010.

MINCHIO, C. A.; CANTERI, M.G.; ROCHA, J.A. Germination of uredospores of *Puccinia kuehnii* subjected to different temperatures and incubation times. **Summa Phytopathologica**, v.37, n.4, p.211-214, 2011.

- NEUBER, A. C.; RAQUEL, C. D. S. F.; DA COSTA, J. B.; VOLPIN, M.; XAVIER, M. A.; PERECIN, D.; BURANO, R. C. V.; LANDELL, M. G. D. A.; PINTO, L. R. Survey of the Bru1 gene for brown rust resistance in Brazilian local and basic sugarcane germplasm. **Plant Breeding**, v.136, p. 182-187, 2017.
- OLORIZ, M. I.; GIL, V.; ROJAS, L.; PORTAL, O.; JIMÉNEZ, E. Histopatología de la interacción compatible e incompatible entre *Puccinia melanocephala* y caña de azúcar var. B4362. **Biotechnología Vegetal**, v.8, n.1, p.123-125, 2008.
- PARLEVLIET, J. E. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. **Annual review of phytopathology**, v.17, n.1, p. 203-222, 1979.
- PURDY, L. H.; LIU, L. J.; DEAN, J. L. Sugarcane rust, a newly important disease. **Plant Disease**, v.67, p. 1292–1296, 1983.
- R Development Core Team. 2020: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. Disponível em: <https://www.rproject.org/>. Acessado em: 15/11/2020.
- RAID, R.N.; COMSTOCK, J. C. Sugarcane Rust Disease. **Agronomy Department document SS-AGR-207**. Gainesville, FL, USA, University of Florida/IFAS, 2006.
- SANDOVAL I, PICORNELL V, CHAVES R, RAMOS N. *Puccinia melanocephala* H&P. Syd.: Biological and ecological aspects. **Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists**, v.18, p. 845–853, 1983.
- SANJEL, S.H.; HINCAPIE, M.; WANG, Y.; TODD, J.; CHAULA, B.; SOOD, S.; JACK C.; COMSTOCK, C. J.; RAID, R. N.; ROTT, P. Occurrence of two races of *Puccinia kuehnii* causing orange rust of sugarcane in Florida. **Plant Pathology**, v. 70, n. 7, p. 1616-1625, 2021.
- SANTOS, A. S. Doenças causadas por fungos. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, p.423, 2010.
- SELVAKUMAR, R.; VISWANATHAN, R. A low cost method for early detection of airborne *Puccinia* rust spores using glass slides and foldscope in the sugarcane field. **Indian Phytopathology**, p. 1-3, 2021.
- SHAN, H. L.; LI, W. F.; HUANG, Y. K.; LUO, Z. M.; WANG, X. Y.; SHEN, K.; ZHANG, R. Y.; YIN, J. Investigation of diseases and insect pests on new propagation and demonstration varieties/lines in National Sugarcane System. **Sugar Crops of China**, v. 6, p. 50-53, 2014.
- SHANER, G.; FINNEY, R.R. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing in knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, n.8, p.1052-1056, 1977.
- SHINE, J. M. J. R.; COMSTOCK, J. C.; DEAN, J. L. Comparison of five isolates of sugarcane rust and differential reaction on six sugarcane clones. **Proceedings International Society of Sugar Cane Technologists**, v.25, p. 638–647, 2005.

SOOD, S. G.; COMSTOCK, J. C.; GLYNN, N. C. Leaf whorl inoculation method for screeningsugarcane rust resistance. **Plant Disease**. v. 93, p. 1335–1340, 2009.

SOTOMAYOR, IA, PURDY LH, TRESE AT. Infection of sugarcane leaves by *Puccinia melanocephala*. **Phytophatology**, v.73, p. 695-699, 1983.

TOKESHI, H.; RAGO, A. Doenças da Cana-de-Açúcar. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Org). **Manual de fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. São Paulo: Ceres, Cap. v.23. p. 219-231, 2016.

URASHIMA, A. S.; BOMBECINI, J.; UZAN, J. Effect of pathogen concentrations and period of leaf wetness on orange rust severity in Brazilian sugarcane cultivars. **Tropical plant pathology**. v.43, p. 506–513, 2018.

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

WANG, T. C.; HARTMAN, G. L. Epidemiology of soybean rust and breeding for host resistance. **PI. Prot Bull** v. 34, n.1, p.109-149.1992.

YANG, X.; ISLAM, M. S.; SOOD, S.; MAYA, S.; HANON, E. A.; COMSTOCK, J.; WANG, J. Identifying *Quantitative Trait Loci* (QTLs) and developing diagnostic Markers Linked to Orange rust resistance in sugarcane (*Shaccharum* spp.). **Front plant Science**. v.9, p. 350, 2018.

ZHANG, R. Y.; SHAN, H. L.; YANG, K.; WANG, X. Y.; CANG, X. Y; WANG, C. M.; HUANG, Y. K. Identification of brown rust resistance in the field and detection of the *Bru1* gene in sugarcane varieties. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, 2021.

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

CAPÍTULO III



CONCLUSÕES GERAIS

Dos 17 genótipos avaliados, quatro apresentam resposta imune à Ferrugem marrom e 12 resistência parcial. Para a Ferrugem alaranjada, três apresentam imunidade e 13 resistência parcial.

De forma geral, a Ferrugem marrom apresenta progresso linear, enquanto a Ferrugem alaranjada exhibe progresso exponencial, com picos de severidade mais altos em condições de campo.

Os genótipos avaliados apresentam reação similiar para a Ferrugem alaranjada, sob condições de campo e em casa de vegetação.

Os genótipos com resposta imune e bons níveis de resistência parcial à Ferrugem alaranjada em campo e em casa de vegetação podem ser recomendados como variedades comerciais ou utilizados em programas de melhoramento da cana-de-açúcar.

Há concordância entre os parâmetros e variáveis analisados para discriminar o comportamento dos genótipos em relação às Ferrugens.

A avaliação de ambas as Ferrugens pode ser antecipada para nove meses após o plantio.