



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



FELIPE GOMES DE SOUZA

**REAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR À FERRUGEM
ALARANJADA NOS CICLOS DE CANA-PLANTA E DE CANA-SOCA**

ARARAS - 2021



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



FELIPE GOMES DE SOUZA

**REAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR À FERRUGEM
ALARANJADA NOS CICLOS DE CANA-PLANTA E DE CANA-SOCA**

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann

ARARAS – 2021

A meus pais, Dacio e Isabel, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

À toda minha família, principalmente aos meus pais, Dacio e Isabel e meu irmão Vinicius por todo o carinho e por sempre me apoiarem e me motivarem a seguir meus objetivos.

À Universidade Federal de São Carlos, por proporcionar experiências e aprendizados ao longo dos anos, e a todo o seu corpo docente pelos conhecimentos e conselhos transmitidos durante a minha graduação.

À turma XXIV de Engenharia Agrônômica da CCA/UFSCAR, foi um prazer dividir esses anos com vocês.

Ao Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffman e ao Dr. Roberto Giacomini Chapola pela orientação e oportunidades das quais serei eternamente grato.

Ao Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA/UFSCAR) e toda a sua equipe, pelo suporte e apoio.

E a todos que participaram direta ou indiretamente com esse trabalho.

Muito obrigado!

**“Uma vida sem desafios não vale
a pena ser vivida.”**

Sócrates

RESUMO

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar é uma doença causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, que pode causar quedas de mais de 40% na produtividade da cultura. Na literatura, há poucos estudos sobre a doença em diferentes ciclos da cultura; dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada nos ciclos de cana-planta e de cana-soca. Foram conduzidos dois experimentos em campo no município de Araras, SP, em condições naturais de infecção. Nas bordaduras e entre os blocos dos dois experimentos foi plantada a variedade SP89-1115, suscetível à ferrugem alaranjada, que atuou como multiplicadora e doadora de inóculo de *P. kuehnii*. As avaliações de severidade da doença foram realizadas na folha +3, em média a cada 15 dias a partir do aparecimento das primeiras pústulas. As variáveis analisadas foram a área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AAPDR), calculada a partir dos dados de severidade da doença, e a nota máxima de severidade durante o ciclo. Houve diferença significativa entre as variedades nos dois experimentos. Foi possível observar, de cana-planta para cana-soca, um aumento da AAPDR nos genótipos mais suscetíveis nos dois experimentos, o que não aconteceu nas variedades resistentes e intermediárias. Para nota máxima, as poucas diferenças de um ciclo para outro não foram suficientes para alterar a classificação da reação das variedades à doença, exceto no caso da RB855453 no segundo experimento, que em cana-planta ficou agrupada entre as variedades mais resistentes e entre as de reação intermediária em cana-soca. Diante dos resultados obtidos, recomenda-se que experimentos para avaliação da resposta de genótipos de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada sejam conduzidos durante, pelo menos, dois ciclos (cana-planta e cana-soca), e que se utilize a variável AAPDR para comparação entre os genótipos.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*; *Puccinia kuehnii*; fitopatologia; melhoramento genético.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Escala diagramática para avaliação de ferrugem em cana-de-açúcar (AMORIM et al., 1987). %FA = Porcentagem da folha afetada pela doença 23
- Figura 2. Esquema de Kuijper para numerar folhas de cana-de-açúcar. Folha +3, utilizada para avaliar a severidade da ferrugem alaranjada, destacada nas imagens. Fonte: Dillewijn (1952)..... 23
- Figura 3. Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar nos ciclos de cana-planta e de cana-soca. A) SP89-1115; B) SP81-3250; C) RB72454; D) CTC15. Dados em porcentagem da terceira folha expandida afetada pela doença. Avaliações realizadas entre dezembro e maio, em intervalos de 15 a 20 dias. Cana-planta: anos 2014 e 2015; cana-soca: anos 2015 e 2016..... 30
- Figura 4. Precipitação pluviométrica, em mm mensais, e temperatura média, em °C, em Araras, SP, nos ciclos de: A) cana-planta (outubro de 2014 a abril de 2015); B) cana-soca (outubro de 2015 a abril de 2016). Plantio: outubro/2014; avaliações em cana-planta: de janeiro/2015 a abril/2015. Corte: setembro/2015; avaliações em cana-soca: de dezembro/2015 a abril/2016..... 31
- Figura 5. Número de horas mensais favoráveis à germinação de uredinósporos de *Puccinia kuehnii*, agente causal da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, nos ciclos de cana-planta (janeiro a abril de 2015) e de cana-soca (janeiro a abril de 2016), no município de Araras, SP. 32
- Figura 6. Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar nos ciclos de cana-planta e de cana-soca. A) SP89-1115; B) CTC15; C) SP81-3250; D) RB855453. Dados em porcentagem da terceira folha expandida afetada pela doença. Avaliações realizadas entre dezembro e maio, em intervalos de 15 a 20 dias. Cana-planta: anos 2018 e 2019; cana-soca: anos 2019 e 2020..... 38
- Figura 7. Precipitação pluviométrica, em mm mensais, e temperatura média, em °C, em Araras, SP, nos ciclos de: A) cana-planta (outubro de 2018 a abril de 2019); B) cana-soca (outubro de 2019 a abril de 2020). Plantio: outubro/2018; avaliações em cana-planta: de janeiro/2019 a abril/2019. Corte: outubro/2019; avaliações em cana-soca: de janeiro/2020 a maio/2020..... 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características de <i>Puccinia kuehnii</i> e <i>Puccinia melanocephala</i> , agentes causais da ferrugem alaranjada e da ferrugem marrom da cana-de-açúcar, respectivamente	15
Tabela 2. Variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada no Experimento 1 (2015-2016)	21
Tabela 3. Variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada no Experimento 2 (2019-2020)	21
Tabela 4. Análise de variância para nota máxima ¹ de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 variedades de cana-de-açúcar, em dois ciclos da cultura ² (cana-planta e cana-soca).....	25
Tabela 5. Nota máxima ¹ de ferrugem alaranjada em 24 variedades de cana-de-açúcar, avaliadas nos ciclos ² de cana-planta e de cana-soca	27
Tabela 6. Análise de variância para a área abaixo da curva de progresso da doença relativa ¹ , obtida em 24 variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada nos ciclos ² de cana-planta e de cana-soca	28
Tabela 7. Área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AACPDR ¹) de 24 variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada nos ciclos ² de cana-planta e de cana-soca	29
Tabela 8. Análise de variância para nota máxima ¹ de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 variedades de cana-de-açúcar, em dois ciclos da cultura ² (cana-planta e cana-soca).....	33
Tabela 9. Nota máxima ¹ de ferrugem alaranjada em 24 variedades de cana-de-açúcar, avaliadas nos ciclos ² de cana-planta e de cana-soca	35
Tabela 10. Análise de variância para a área abaixo da curva de progresso da doença relativa ¹ de 24 variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada, nos ciclos ² de cana-planta e de cana-soca	36
Tabela 11. Área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AACPDR ¹) de 24 variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada nos ciclos ² de cana-planta e de cana-soca	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. Importância econômica da cana-de-açúcar	11
2.2. Melhoramento genético da cana-de-açúcar	12
2.4. Ferrugem alaranjada	14
2.2. Controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar	16
3. OBJETIVOS	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1. Plantio dos experimentos	20
4.2. Variedades utilizadas	21
4.3. Dados Meteorológicos	21
4.4. Avaliação de severidade	22
4.5. Cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AACPDR)	24
4.6. Análise de dados	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1. Resultados do Experimento 1	25
5.1.2. Dados meteorológicos - Experimento 1	30
5.2. Resultados do Experimento 2	32
5.2.1. Dados meteorológicos - Experimento 2	38
5.5. Discussão	40
6. CONCLUSÃO	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXO A	51
ANEXO B	52

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético é caracterizado pela sua flexibilidade de produção de etanol e açúcar, reaproveitamento dos subprodutos da industrialização da cana-de-açúcar e pela produção de energia limpa em larga escala, potencializando a diminuição de emissões de carbono na matriz de transportes. O Brasil se destaca no cenário mundial como o maior produtor de cana-de-açúcar, sendo um dos principais *players* em exportações de açúcar e etanol.

O aumento da produção de cana-de-açúcar pode ser suprido pela expansão da área de cultivo, pela melhoria no uso de insumos agrícolas e pelo melhoramento genético, este último através da liberação de variedades mais produtivas. Os principais empecilhos na busca por maiores produtividades nos canaviais são as pragas e as doenças que atacam a cultura. Nos últimos anos, muito destaque tem sido atribuído à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, doença causada pelo fungo *Puccinia kuehnii* e que acomete as folhas das plantas, diminuindo sua taxa fotossintética e, conseqüentemente, causando quedas significativas de produtividade, que podem chegar a mais de 40% em variedades suscetíveis.

Apesar de existirem fungicidas disponíveis para o controle da doença, a aplicação dos mesmos nem sempre gera retorno econômico, além de potencialmente causar impactos ambientais. Dessa forma, o controle da doença com variedades resistentes é o mais recomendado; por isso, é fundamental que os programas de melhoramento genético invistam na liberação de novos genótipos resistentes e também no monitoramento constante da resistência das variedades cultivadas. Na literatura, há poucos trabalhos que avaliaram a reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada em mais de um ciclo de cultivo; assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar a resposta de variedades à doença nos ciclos de cana-planta e de cana-soca.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância econômica da cana-de-açúcar

O Brasil se destaca no cenário mundial como o maior produtor de cana-de-açúcar. Na safra 2019/20, foram produzidas no país 642 milhões de toneladas, em uma área de 8,4 milhões de hectares; com isso, a produtividade média nacional foi superior a 76 t/ha. São Paulo foi o maior Estado produtor, com área colhida superior a 4,3 milhões de hectares e produtividade média de 79,6 t/ha (CONAB, 2020).

A cana-de-açúcar é colhida durante o ano todo no Brasil; na região Centro-Sul, a safra ocorre entre os meses de abril e novembro, enquanto que, na região Norte-Nordeste, a safra se estende de novembro a abril. Isso só é possível graças à distinção climática entre as duas regiões, o que influencia nos estádios fenológicos da planta (JUNQUEIRA, 2014; RAMOS, 2014). O Centro-Sul oferece condições mais favoráveis à cultura, pois apresenta, ao longo do ano, uma estação quente e úmida, que favorece o crescimento vegetativo da planta, e outra estação com temperaturas mais amenas e menor volume de chuvas, que estimulam a maturação (TERAMOTO, 2003; RAMOS, 2014). Na safra 2019/20, a produtividade média foi de 78,1 t/ha na região Centro-Sul e de 59,4 t/ha no Norte-Nordeste (CONAB, 2020).

Os principais produtos do processamento da cana-de-açúcar são o etanol e o açúcar. Na safra 2019/20, 65% do açúcar total recuperável (ATR) foi destinado à produção de 23,8 bilhões de litros de etanol hidratado, que é utilizado diretamente como combustível para veículos, e 10,1 bilhões de litros de etanol anidro, que é misturado à gasolina. Os outros 35% do ATR foram utilizados para a produção de 29,8 milhões de toneladas de açúcar (CONAB, 2020). A industrialização da cana-de-açúcar gera, ainda, importantes subprodutos, tais como o bagaço, que pode ser aproveitado para a nutrição animal ou utilizado para a cogeração de energia para a própria usina, que também pode vender o excedente para a rede elétrica; a vinhaça, que é reaproveitada na fertirrigação de canaviais, disponibilizando umidade e nutrientes, principalmente o potássio (MIRANDA-STALDER & BURNQUIST, 1996); e a torta de filtro, resíduo gerado durante a clarificação do caldo e que é reaproveitada na adubação dos canaviais por ser uma importante fonte de fósforo (ALMEIDA JUNIOR et al., 2011).

A cadeia produtiva do setor sucroenergético brasileiro é responsável por cerca de 10% do Produto Interno Bruto (PIB) agrícola nacional e 2% do PIB total, movimentando aproximadamente R\$ 40 bilhões por ano (UNICA, 2019). Na safra 2019/20, o país exportou 18,9 milhões de toneladas de açúcar, ao valor de US\$ 5,5 bilhões, enquanto que as exportações de etanol somaram 1,9 bilhões de litros, ao valor de US\$ 981,9 milhões (UNICA, 2020). De acordo com dados publicados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2018), cerca de 795 mil trabalhadores formais estavam empregados no setor sucroenergético em 2017, sendo esta uma das atividades com maior taxa de formalização do agronegócio brasileiro, com 8% dos trabalhos formais do segmento.

No final de 2017, foi criada a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) no Brasil, cujo objetivo é a ampliação da participação de biocombustíveis na matriz de transportes do país, baseada na sustentabilidade econômica, social e ambiental. Previsões indicam que a produção nacional de etanol passará de 26,7 bilhões de litros em 2017 para 47,1 bilhões de litros até 2030; caso isso se confirme, as emissões de carbono na matriz de transportes brasileira serão reduzidas em mais de 10% (CEPEA, 2018; UNICA, 2019).

2.2. Melhoramento genético da cana-de-açúcar

O primeiro marco para o melhoramento genético da cana-de-açúcar no mundo foi a obtenção de plântulas provenientes de sementes de *Saccharum spontaneum* em Java e Barbados no final do século XIX, e a posterior hibridação com *S. officinarum* em estações experimentais. Isso permitiu os primeiros estudos de cruzamentos com o intuito de obter novas variedades (PEIXOTO, 1986; CESNIK, 2007).

O melhoramento genético da cana-de-açúcar é um desafio devido à grande complexidade genética da planta. As variedades cultivadas atualmente possuem um alto nível de ploidia e frequente aneuploidia, que tornam cada cruzamento único e imprevisível. Para superar tal dificuldade, os programas de melhoramento devem avaliar centenas de milhares de progênies, derivadas de vários cruzamentos entre indivíduos heterozigotos, e selecionar os indivíduos superiores na população segregante (MATSUOKA et al., 2009; BUTTERFIELD et al., 2001).

As características de interesse agrônomo na cana-de-açúcar são, na sua maioria, controladas por muitos genes e sofrem influência de fatores ambientais; logo,

o sucesso dos programas de melhoramento dependem da precisão experimental em suas diversas etapas de seleção. Nas etapas iniciais, em que o número de progênies é elevado, os experimentos apresentam poucas repetições e parcelas pequenas; já nas etapas mais avançadas, com a clonagem dos indivíduos, são realizadas mais repetições e as parcelas são maiores, proporcionando um aumento na precisão experimental (GAZAFFI, 2009; CURSI, 2016).

No Brasil, o melhoramento genético da cana-de-açúcar se intensificou após a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) em 1975. Na época, a produtividade média era de 55 t/ha e cerca de 80% da área canavieira do país era cultivada com dez variedades, principalmente a CB41-76 e a NA56-79. Após 25 anos de Proálcool, a produção de cana-de-açúcar no país mais que duplicou, graças à expansão da área cultivada e, principalmente, ao aumento de produtividade, que chegou a quase 65 t/ha. Mesmo após a extinção do programa em 1989, o setor continuou sua expansão, em grande parte pela continuação do trabalho dos programas de melhoramento (MATSUOKA et al., 2009).

Atualmente, quatro programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar estão em atividade no Brasil: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA – variedades RB); Instituto Agrônomo de Campinas (IAC – Variedades IAC); Centro de Tecnologia Canavieira (CTC – variedades CTC); e GranBio (variedades Vertix) (GAZAFFI et al, 2016). As variedades RB de cana-de-açúcar começaram a ser desenvolvidas pelo Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR), criado pelo Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) em 1971 e extinto em 1990. Após seu encerramento, as equipes e centros de pesquisas foram absorvidos por sete Universidades Federais, que deram origem à RIDESA. Hoje, a Rede conta com dez Universidades, dentre elas a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O CTC é a continuidade do programa da Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (COPERSUCAR), que desenvolveu as variedades SP de 1969 a 2003. O programa do IAC, cujas primeiras variedades foram lançadas na década de 1950, teve sua origem por iniciativa da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo. Já a GranBio foi fundada em 2011 como uma empresa direcionada para o desenvolvimento de variedades de “cana-energia”, voltadas para a produção de biocombustíveis de segunda geração (MATSUOKA et al., 2009; BARBOSA, 2014; SOUTINHO, 2016).

Os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar têm como objetivo buscar variedades com o maior número possível de características agroindustriais favoráveis, dentre as quais se destacam: alta produtividade, elevado acúmulo de sacarose, bom perfilhamento, crescimento rápido, hábito de crescimento ereto, ausência de florescimento e de isoporização, boa brotação de soqueira, ampla adaptabilidade e estabilidade, tolerância a estresses, resistência às pragas e doenças, entre outras. No Brasil, várias contribuições ao setor sucroenergético são creditadas ao melhoramento genético, tais como o desenvolvimento de variedades rústicas, voltadas para áreas marginais de produção; a ampliação do período de safra, possibilitada com a disponibilidade de variedades com diferentes perfis de maturação; a diversificação genética dos canaviais, que garantiu maior segurança fitossanitária aos produtores; e, principalmente, o controle de doenças importantes com variedades geneticamente resistentes (MORAIS et al., 2015). Dentre as doenças da cana-de-açúcar que podem ser controladas com variedades resistentes, tem ganhado maior destaque, nos últimos anos, a ferrugem alaranjada.

2.4. Ferrugem alaranjada

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar é causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*. Apesar de relatos da doença datarem desde 1890 na Oceania e na Ásia, a ferrugem alaranjada era considerada de importância secundária. No entanto, no início dos anos 2000, a variedade Q124, amplamente cultivada na Austrália, foi severamente atacada pela doença em diversas regiões produtoras do país e também na Indonésia (MAGAREY, 2001). Anos depois, houve relatos da ferrugem alaranjada na Flórida (COMSTOCK et al., 2008), Guatemala (OVALLE et al., 2008), México, El Salvador, Panamá (FLORES et al., 2009), Cuba (PÉREZ-VICENTE et al., 2009), Costa Rica e Nicarágua (CHAVARRÍA et al., 2009).

No Brasil, o primeiro relato da ferrugem alaranjada em cana-de-açúcar foi em 2009, no Estado de São Paulo. Ainda em 2009 e ao longo de 2010, a doença foi constatada no Paraná, Minas Gerais, Goiás, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e, em 2012, foi observada na região Nordeste. As variedades que se mostraram mais suscetíveis nos primeiros anos da doença no país foram a RB72454, a SP89-1115 e a SP84-2025 (BARBASSO et al., 2010; FERRARI et al., 2010; CHAVES et al., 2013).

Os sintomas da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar são pequenas manchas cloróticas, observadas principalmente na parte abaxial da folha, que evoluem para lesões que rompem a epiderme da folha, formando urédias com coloração alaranjada, conhecidas como pústulas (FERRARI et al., 2010). As pústulas são mais frequentemente encontradas de maneira agrupada entre a base e o centro das folhas e possuem coloração alaranjada-clara quando mais novas, tornando-se alaranjada-escura com o tempo (SOUZA et al., 2018; MISTURA, 2016). O aumento dos sintomas nas folhas interfere na capacidade fotossintética da planta, prejudicando o crescimento, o acúmulo de açúcar nos colmos e, conseqüentemente, reduzindo a produtividade (ZHAO et al., 2011). Os sintomas da ferrugem alaranjada podem ser confundidos com os da ferrugem marrom, causada por *Puccinia melanocephala*. Algumas das principais diferenças que auxiliam na correta identificação dessas duas doenças são destacadas na Tabela 1. Além dessas duas ferrugens, há ainda a ferrugem africana ou “tawny rust of sugarcane”, relatada na África do Sul em 2008. A doença, causada pelo fungo *Macruropyxis fulva* sp. nov., ainda não foi reportada no Brasil, permanecendo restrita ao continente africano (MARTIN et al., 2017).

Tabela 1. Características de *Puccinia kuehnii* e *Puccinia melanocephala*, agentes causais da ferrugem alaranjada e da ferrugem marrom da cana-de-açúcar, respectivamente

Espécie	<i>Puccinia kuehnii</i>	<i>Puccinia melanocephala</i>
Doença	Ferrugem Alaranjada	Ferrugem Marrom
Pústulas	Menores, mais claras, mais comuns na base das folhas e ocorrem, frequentemente, de maneira agrupada	Compridas, mais escuras, mais frequentes na porção central e na ponta das folhas, com distribuição uniforme ao longo do limbo foliar
Urediniósporos	Coloração amarelada a castanha, com espessamento apical na parede celular	Coloração castanha escura a marrom, com parede celular homogênea
Paráfises	Indistintas ou inexistentes	Hialinas e abundantes

Elaborada a partir de Magarey et al. (2001) e Ferrari et al. (2010).

A ferrugem alaranjada é favorecida por verões úmidos, uma vez que as condições ótimas para a germinação dos urediniósporos de *P. kuehnii* são umidade relativa acima de 98% e temperaturas entre 19°C e 26°C (SOUZA et al., 2018); entretanto, os urediniósporos podem germinar em condições de umidade relativa a

partir de 90% e em uma ampla faixa de temperatura, de 5°C a 34°C. Lima (2013) observou que o período mínimo de molhamento foliar para a manifestação da ferrugem alaranjada foi de 12h e que a faixa de temperatura de 22,5°C a 25°C foi a de maior favorabilidade à doença. Já Martins (2010) observou que, *in vitro*, a germinação de uredinósporos de *P. kuehnii* foi superior nas temperaturas de 15°C e 20°C; *in vivo*, plantas submetidas às temperaturas de 20°C e 25°C e 18h de molhamento foliar apresentaram maior número de pústulas. Com esses resultados, foi possível estabelecer um modelo para inferir as regiões mais propícias à ferrugem alaranjada no Estado de São Paulo, que apontou as regiões Centro-Sul, Centro-Norte e quase toda a extensão litorânea como as mais favoráveis à doença.

Araújo et al. (2013) determinaram que, na região Oeste do Estado de São Paulo, o período de maior favorabilidade à ferrugem alaranjada seria de fevereiro a maio, independentemente do estágio fenológico da planta. Resultado semelhante foi obtido por Chapola (2013) em Araras, SP, onde as avaliações de severidade realizadas no mês de março foram as que mais se correlacionaram com a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Já Klosowski et al. (2015), no Norte do Estado do Paraná, observaram maior correlação entre a AACPD e as avaliações de severidade realizadas em maio.

Magarey (2010) relatou que, no início da epidemia de ferrugem alaranjada na Austrália em 2000, a variedade de cana-de-açúcar Q124, uma das mais produtivas na época, passou a ser uma das menos produtivas, com quedas de até 40% de produtividade. Zuza & Borsato (2013), a partir de dados de áreas de produção em Piracicaba, SP, compararam as produtividades de uma variedade suscetível à ferrugem alaranjada (SP89-1115) com as de um grupo de variedades resistentes antes e depois da detecção da doença no Brasil; os autores estimaram que, na variedade suscetível, a ferrugem alaranjada foi responsável por quedas de produtividade de 30% a 40%.

2.2. Controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar

Devido ao potencial de danos da ferrugem alaranjada na cana-de-açúcar, estratégias de controle devem ser adotadas para minimizar os prejuízos. Após a epidemia da doença na Austrália em 2000, as principais estratégias utilizadas foram a rápida disponibilização de variedades resistentes e a aplicação de fungicidas para

reduzir as perdas em variedades suscetíveis até a completa substituição das mesmas (MAGAREY, 2010). Raid (2010), estudando a aplicação de piraclostrobina em uma variedade suscetível (CL85-1040), relatou níveis de severidade de 35% na testemunha sem controle, enquanto que, nas parcelas tratadas a cada sete dias, esses níveis foram próximos de 0%; além disso, o controle da doença proporcionou uma recuperação de 53% de produtividade em toneladas de açúcar por hectare. Collette (2016), testando diferentes associações de fungicidas para o controle da ferrugem alaranjada na variedade RB72454, observou melhores resultados com fluxapirroxade + piraclostrobina, que reduziu significativamente a severidade em relação à testemunha sem aplicação.

Apesar dos bons resultados apresentados, o controle da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar com fungicidas apresenta algumas desvantagens, como a necessidade de aplicações frequentes, que são dificultadas após o fechamento das entrelinhas; riscos ambientais de contaminação do solo e dos recursos hídricos; dependência das condições climáticas para a aplicação; possibilidade de seleção de raças resistentes do patógeno pelo uso recorrente do mesmo produto ou de produtos com formulações semelhantes; e, ainda, incerteza em relação ao retorno econômico. Dessa maneira, o uso de variedades resistentes se mostra como o método de controle mais viável, porque além de ser efetivo e de baixo custo não causa impactos ambientais negativos. Por isso, é fundamental que os programas de melhoramento invistam em métodos adequados para avaliar, com precisão, a reação dos genótipos à doença (SOOD et al, 2009; OVALLE SÁENZ et al., 2010; MAGAREY, 2010).

Na literatura, há diversos trabalhos que buscaram quantificar a resistência genética de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada. Um dos métodos mais utilizados é através da inoculação artificial do patógeno (SOOD & COMSTOCK, 2009; CHAPOLA et al., 2016; HOEPERS et al., 2020), que tem como vantagens a obtenção mais rápida dos resultados e a menor necessidade de espaço físico; por outro lado, tem como desvantagens permitir a avaliação de apenas um ciclo da doença e, dependendo da carga de inóculo utilizada, pode subestimar ou superestimar a reação das variedades. Ensaio em campo são comuns e apresentam resultados confiáveis por representarem a condição em que as variedades serão submetidas; para um resultado mais preciso, é fundamental que os ensaios sejam conduzidos em

regiões favoráveis à doença e que haja pressão de inóculo suficiente, o que pode ser conseguido com o plantio de variedades suscetíveis como linhas infectoras na área experimental.

Chapola (2013) conduziu um experimento em Araras, SP, em condições naturais de infecção, em que avaliou a reação de 17 variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada, das quais três foram consideradas suscetíveis, quatro de reação intermediária e as demais resistentes. Araújo et al. (2013) realizou experimento semelhante em Valparaíso, SP, com trinta e oito variedades, das quais seis foram consideradas suscetíveis. Também em condições naturais de infecção, no Estado do Paraná, Klosowski (2015) classificou 14 variedades como suscetíveis à ferrugem alaranjada, de um total de 28 variedades avaliadas.

Ido et al. (2006), em Paranaíba, PR, avaliaram a resistência à ferrugem marrom (*P. melanocephala*) de 44 variedades de cana-de-açúcar nos ciclos de cana-planta e de cana-soca. Oito variedades foram classificadas como suscetíveis em cana-planta e, em cana-soca, somente uma delas foi classificada como suscetível. Nesse estudo, os autores notaram uma tendência de redução de severidade da ferrugem marrom de cana-planta para cana-soca. Poucos trabalhos na literatura estudaram a reação de variedades à ferrugem alaranjada em mais de um ciclo de cultivo; geralmente, as avaliações são feitas somente em cana-planta. Por isso, pouco se sabe sobre o efeito da interação entre variedades e ciclos de cultivo na manifestação da ferrugem alaranjada, o que evidenciaria se existem variedades que se tornam mais ou menos suscetíveis dependendo do ciclo, ou se um dos ciclos, de maneira geral, tende a ser mais favorável à doença, independentemente da variedade.

3. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a reação de genótipos de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada a campo, em condições naturais de infecção, em cana-planta e cana-soca, observando-se a interação entre a resposta das variedades e os ciclos da cultura.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Plantio dos experimentos

Dois experimentos foram conduzidos no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (CCA/UFSCar), localizado em Araras, SP (latitude 22° 18' S, longitude 47° 23' W e altitude de 690m). O município possui clima Cwa mesotérmico, segundo classificação climática de Köppen, com verões quentes e úmidos, e invernos secos. A região é considerada de média a alta favorabilidade à ferrugem alaranjada, segundo Martins (2010). O delineamento utilizado em ambos os experimentos foi o de blocos casualizados, com três repetições. Nas bordaduras e entre os blocos dos experimentos foi plantada a variedade SP89-1115, suscetível à ferrugem alaranjada, que atuou como multiplicadora e doadora de inóculo de *Puccinia kuehnii*.

4.1.1 Experimento 1

O Experimento 1 foi plantado manualmente em outubro de 2014 com rebolos de três a quatro gemas, a uma densidade média de 12 gemas por metro. As parcelas foram compostas por dois sulcos de 2m de comprimento e espaçamento de 1,4m entre sulcos. As avaliações de severidade da doença em cana-planta foram realizadas de janeiro a abril de 2015. O campo foi colhido em setembro de 2015, e as avaliações de severidade em cana-soca foram conduzidas de dezembro de 2015 a abril de 2016.

4.1.2 Experimento 2

O Experimento 2 foi plantado em outubro de 2018 em parcelas de dois sulcos de 2,5m de comprimento e espaçamento de 1,4m entre sulcos. O plantio foi realizado com mudas pré-brotadas, com auxílio de uma plantadeira manual de mudas, sendo cinco mudas por sulco a um espaçamento de 0,5m entre as plantas. Em cana-planta, as avaliações de severidade da doença foram conduzidas de janeiro a abril de 2019. A colheita do campo foi realizada em outubro de 2019 e, de janeiro a maio de 2020, foram conduzidas as avaliações de severidade em cana-soca.

4.2. Variedades utilizadas

Para a realização dos ensaios, as variedades foram selecionadas prioritariamente com base na participação das mesmas em áreas de cultivo de cana-de-açúcar nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul em 2014 (Experimento 1 - Tabela 2) e em 2018 (Experimento 2 - Tabela 3). Também foram escolhidas variedades padrões, de reações já conhecidas à ferrugem alaranjada (SP89-1115 e SP81-3250: suscetíveis; RB855156 e RB92579: intermediárias) (FERRARI et al., 2010; BARBASSO et al., 2010; CHAPOLA, 2013; ARAÚJO, 2013).

Tabela 2. Variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada no Experimento 1 (2015-2016).

Variedades			
CTC2	RB72454	RB928064	RB975242
CTC4	RB855156	RB935744	RB975952
CTC9	RB855453	RB965902	RB985476
CTC15	RB855536	RB965917	SP81-3250
CTC20	RB867515	RB966928	SP83-2847
IACSP95-5000	RB92579	RB975201	SP89-1115

Tabela 3. Variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada no Experimento 2 (2019-2020).

Variedades			
CTC4	RB855035	RB928064	RB985476
CTC15	RB855156	RB965902	SP80-1842
CTC20	RB855453	RB966928	SP80-3280
CTC9001	RB855536	RB975201	SP81-3250
RB835054	RB867515	RB975242	SP83-2847
RB835486	RB92579	RB975952	SP89-1115

4.3. Dados Meteorológicos

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica durante os períodos de condução dos experimentos foram coletados da Estação meteorológica UFSCar Araras (<http://www.meteorologia-ara.ufscar.br/dados-meteorologicos/estacao-meteorologica-automatica-ema/dados/>), do Serviço de Água e Esgoto do Município de Araras - SAEMA (<http://saema.com.br/pluviometria/>) e do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>) (Anexos A e B). Para o Experimento 1, devido à disponibilidade de dados horários de umidade relativa e de

temperatura, foi possível inferir o número de horas mensais favoráveis à germinação de urediniosporos de *P. kuehni*, de acordo com metodologia proposta por Araújo et al. (2013), baseada no trabalho de Magarey (2001), que estabeleceu que estas condições são umidade relativa do ar acima de 95% e temperaturas entre 17°C e 24°C.

4.4. Avaliação de severidade

As estimativas de severidade da ferrugem alaranjada nas variedades de cana-de-açúcar foram realizadas em campo, com o auxílio da escala diagramática de Amorim et al. (1987), ilustrada na Figura 1. Foi utilizada como padrão de avaliação a folha +3 (CHAVARRÍA et al., 2009; KLOSOWSKI et al., 2013), ou seja, a terceira folha expandida a partir do primeiro colarinho (“*dewlap*”) visível, conforme classificação de Kuijper, descrita por Dillewijn (1952) e ilustrada na Figura 2. Em cada uma das avaliações, foram observadas dez folhas por parcela, totalizando 30 folhas avaliadas por variedade. As avaliações foram conduzidas em média a cada 15 dias, com a primeira delas sendo realizada três meses após o plantio ou colheita e a última em abril ou maio, com a diminuição das condições favoráveis à doença (temperaturas mais amenas e menor umidade). Ao todo, foram realizadas sete avaliações em cana-planta e oito em cana-soca no Experimento 1, mais nove avaliações em cana-planta e dez em cana-soca no Experimento 2.

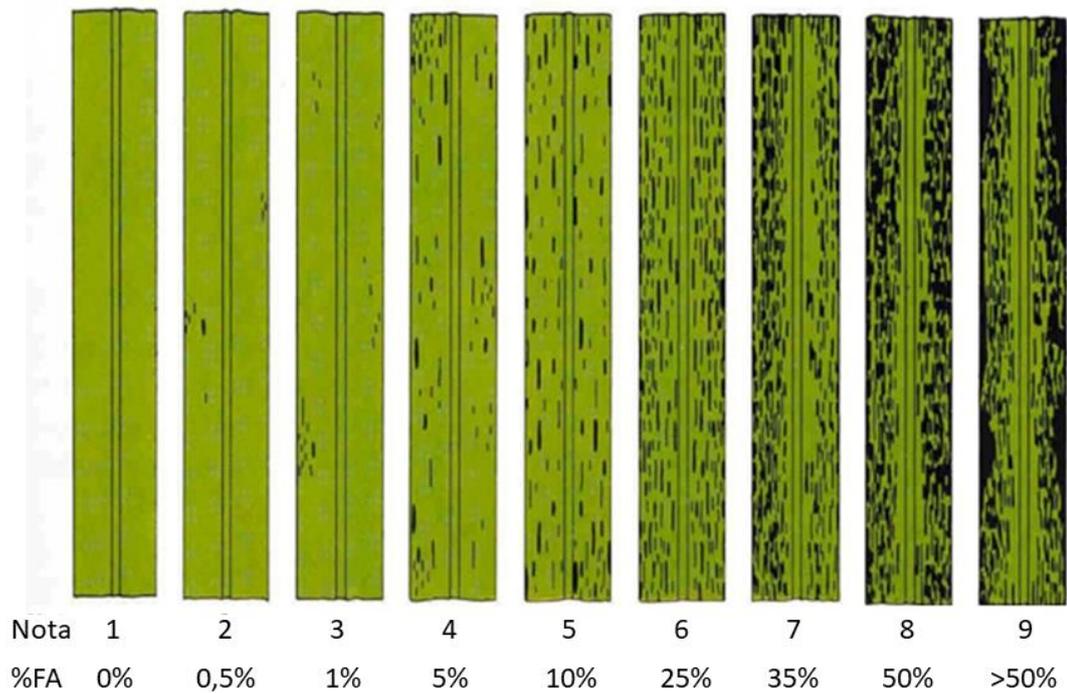


Figura 1. Escala diagramática para avaliação de ferrugem em cana-de-açúcar (AMORIM et al., 1987). %FA = Porcentagem da folha afetada pela doença.

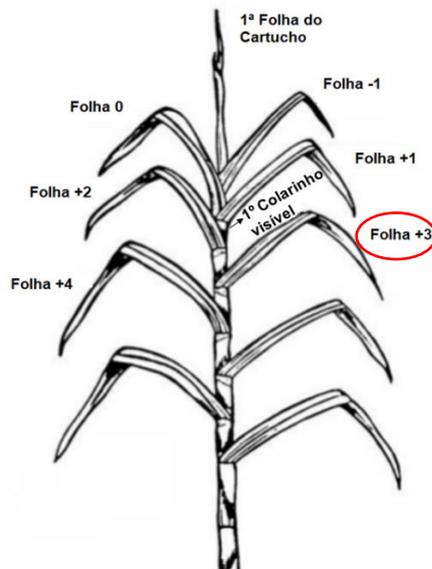


Figura 2. Esquema de Kuiper para numerar folhas de cana-de-açúcar. Folha +3, utilizada para avaliar a severidade da ferrugem alaranjada, destacada na imagem. Fonte: Dillewijn (1952).

4.5. Cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AACPD)

Após as avaliações de severidade da ferrugem alaranjada, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para cada variedade, conforme a equação de Campbell & Madden (1990), apresentada a seguir:

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

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

Em seguida ao cálculo da AACPD, foi obtida a AACPD relativa (AACPD_R), dividindo-se o valor da AACPD pelo número de dias entre a primeira e a última avaliação de severidade da ferrugem alaranjada (ARAÚJO et al., 2013); assim, torna-se possível a comparação entre variedades avaliadas em diferentes anos ou ciclos, com diferentes períodos de avaliações.

4.6. Análise de dados

Para a comparação entre as variedades de cana-de-açúcar e entre os ciclos de cana-planta e de cana-soca, foram consideradas as variáveis nota máxima de severidade da ferrugem alaranjada, segundo a escala de Amorim et al. (1987), e AACPD_R. Estes dados foram submetidos à análise de variância e as médias das variedades e dos ciclos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Para as análises estatísticas, foi utilizado o programa SISVAR (Universidade Federal de Lavras); considerou-se o delineamento de parcelas subdivididas, com as variedades como tratamento principal e os ciclos de cultivo (cana-planta e cana-soca) como subtratamento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Resultados do Experimento 1

Na Tabela 4, é apresentada a análise de variância para a variável nota máxima de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar nos ciclos de cana-planta e de cana-soca no Experimento 1, conduzido entre os anos de 2014 e 2016. Houve diferença significativa a 1% entre as variedades e a 5% para a interação entre variedades e ciclos, indicando que alguns genótipos apresentaram alterações significativas nas notas máximas entre os ciclos estudados. Não houve diferença significativa entre os ciclos de cana-planta e de cana-soca, considerando a nota máxima média dos 24 genótipos estudados.

Tabela 4. Análise de variância para nota máxima¹ de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 variedades de cana-de-açúcar em dois ciclos da cultura² (cana-planta e cana-soca).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	Pr>Fc
Variedade	23	30,5413	1,3279	150,303	0,0000**
Erro 1	48	0,4241	0,0088		
Ciclo	1	0,0005	0,0005	0,046	0,8305
Variedade*ciclo	23	0,5082	0,0221	1,880	0,0328*
Erro 2	48	0,5642	0,0118		
Total corrigido	143	32,0383			
CV 1 (%) =	4,97				
CV 2 (%) =	5,73				
Média geral:	1,8908	Número de observações:	144		

¹ Amorim et al. (1987). Dados transformados em $\sqrt{(x + 1)}$ para a realização das análises estatísticas.

² Plantio: outubro/2014; avaliações em cana-planta: de janeiro/2015 a abril/2015. Corte: setembro/2015; avaliações em cana-soca: de dezembro/2015 a abril/2016.

* Significativo a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Os resultados de nota máxima de severidade de ferrugem alaranjada nas 24 variedades de cana-de-açúcar em cana-planta e em cana-soca são mostrados na Tabela 5. Em cana-planta, as variedades foram classificadas em cinco grupos. O primeiro deles foi formado pelas variedades SP89-1115, RB72454, SP81-3250 e CTC15, que apresentaram as maiores notas de severidade. No segundo grupo ficou apenas a CTC9, seguida pelo terceiro grupo composto pelos genótipos RB855156, RB92579 e SP83-2847. Formaram o quarto grupo as variedades RB975952, RB985476, RB975201, RB935744, RB965917, RB975242, RB965902 e IACSP95-

5000, todas com nota máxima inferior a 3. Finalmente, o último grupo foi composto pelos genótipos CTC20, CTC2, RB867515, CTC4, RB855453, RB855536, RB928064 e RB966928, que apresentaram as menores notas de severidade; as cinco últimas desse grupo não mostraram sintomas da doença em cana-planta.

Ainda na Tabela 5, observa-se que, em cana-soca, as variedades foram divididas em quatro agrupamentos. Assim como em cana-planta, os genótipos SP89-1115, RB72454, SP81-3250 e CTC15 apresentaram as maiores notas de ferrugem alaranjada e formaram o primeiro grupo, seguido por um grupo composto pelas variedades CTC9, RB855156, RB92579 e SP83-2847. No terceiro grupo, ficaram os genótipos RB975952, RB985476, RB975201, RB935744, RB965917, RB965902, RB867515 e RB855453, todos com notas máximas inferiores a 3. Por fim, formaram o quarto grupo as variedades RB975242, IACSP95-5000, CTC2, RB928064, CTC20, CTC4, RB855536 e RB966928, que apresentaram as menores notas de severidade; as quatro últimas desse grupo não mostraram sintomas da doença em cana-soca. Apenas as variedades CTC4, RB855536 e RB966928 não mostraram sintomas de ferrugem alaranjada em ambos os ciclos avaliados. Os genótipos CTC15 e RB855453 apresentaram aumentos significativos nas notas máximas da doença de cana-planta para cana-soca, enquanto que a variedade RB975242, ao contrário, mostrou nota máxima de severidade superior em cana-planta.

Tabela 5. Nota máxima¹ de ferrugem alaranjada em 24 variedades de cana-de-açúcar, avaliadas nos ciclos² de cana-planta e de cana-soca.

Variedade	Nota	
	Planta	Soca
SP89-1115	6,7 Aa	7,3 Aa
RB72454	6,0 Aa	6,7 Aa
SP81-3250	6,0 Aa	6,0 Aa
CTC15	5,7 Ba	6,7 Aa
CTC9	5,0 Ab	4,3 Ab
RB855156	4,0 Ac	4,0 Ab
RB92579	4,0 Ac	4,0 Ab
SP83-2847	4,0 Ac	4,0 Ab
RB975952	2,7 Ad	2,0 Ac
RB985476	2,3 Ad	2,0 Ac
RB975201	2,0 Ad	2,0 Ac
RB935744	2,0 Ad	1,7 Ac
RB965917	2,0 Ad	1,7 Ac
RB975242	2,0 Ad	1,3 Bd
RB965902	2,0 Ad	2,0 Ac
IACSP95-5000	1,7 Ad	1,3 Ad
CTC20	1,3 Ae	1,0 Ad
CTC2	1,3 Ae	1,3 Ad
RB867515	1,3 Ae	1,7 Ac
CTC4	1,0 Ae	1,0 Ad
RB855453	1,0 Be	2,0 Ac
RB855536	1,0 Ae	1,0 Ad
RB928064	1,0 Ae	1,3 Ad
RB966928	1,0 Ae	1,0 Ad
Média total	2,8 A	2,8 A

¹ Escala de Amorim et al. (1987). Dados transformados em $\sqrt{(x+1)}$ para a realização das análises estatísticas.

² Plantio: outubro/2014; avaliações em cana-planta: de janeiro/2015 a abril/2015. Corte: setembro/2015; avaliações em cana-soca: de dezembro/2015 a abril/2016.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Letras maiúsculas nas linhas e letras minúsculas nas colunas.

Em relação à variável área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AAPDR), a análise de variância apresentada na Tabela 6 mostra que houve diferença significativa a 1% para variedades, ciclos e também para a interação entre variedades e ciclos; isto indica que, para alguns genótipos, a AAPDR sofreu alterações significativas de um ciclo para outro.

Tabela 6. Análise de variância para a área abaixo da curva de progresso da doença relativa¹, obtida em 24 variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada nos ciclos² de cana-planta e de cana-soca.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	Pr>Fc
Variedade	23	123,4493	5,3674	426,592	0,0000**
Erro 1	48	0,6039	0,0126		
Ciclo	1	0,4647	0,4647	47,175	0,0000**
Variedade*ciclo	23	3,0030	0,1306	13,255	0,0000**
Erro 2	48	0,4728	0,0098		
Total corrigido	143	127,9938			
CV 1 (%) =	7,40				
CV 2 (%) =	6,55				
Média geral:	1,5162	Número de observações:		144	

¹ Dados transformados em $\sqrt{x + 1}$ para a realização das análises estatísticas.

² Plantio: outubro/2014; avaliações em cana-planta: de janeiro/2015 a abril/2015. Corte: setembro/2015; avaliações em cana-soca: de dezembro/2015 a abril/2016.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Os dados de AACPDR das 24 variedades em cana-planta e em cana-soca são apresentados na Tabela 7. Em cana-planta, as variedades foram classificadas em sete agrupamentos, sendo os cinco primeiros formados por apenas uma variedade cada, em ordem decrescente de AACPDR: SP89-1115, RB72454, SP81-3250, CTC15 e CTC9. Em seguida, os genótipos RB855156 e RB92579 formaram o sexto grupo e, finalmente, o sétimo nível foi composto pelas variedades SP83-2847, RB975952, RB985476, RB975201, RB935744, RB965917, RB975242, RB965902, IACSP95-5000, CTC20, CTC2, RB867515, CTC4, RB855453, RB855536, RB928064 e RB966928, que mostraram os menores valores de AACPDR em cana-planta dentre as variedades estudadas.

Ainda na Tabela 7, é possível observar que, em cana-soca, as variedades foram divididas em seis agrupamentos. Assim como em cana-planta, o primeiro grupo foi formado somente pela SP89-1115, que mostrou a maior AACPDR dentre as variedades estudadas, seguida pela RB72454. No terceiro grupo, ficaram os genótipos SP81-3250 e CTC15, enquanto que a variedade CTC9 formou, sozinha, o quarto nível. Os genótipos RB855156 e RB92579 compuseram o quinto grupo e, por fim, o sexto nível foi representado pelas variedades SP83-2847, RB975952, RB985476, RB975201, RB935744, RB965917, RB975242, RB965902, IACSP95-5000, CTC2, RB867515, RB855453, RB928064, CTC4, CTC20, RB855536 e

RB966928, que mostraram os menores valores de AACPDR em cana-soca, de maneira semelhante ao que já havia sido observado em cana-planta.

Tabela 7. Área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AAPDR¹) de 24 variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada nos ciclos² de cana-planta e de cana-soca.

Variedade	AACPDR	
	Planta	Soca
SP89-1115	12,430 Ba	18,412 Aa
RB72454	10,030 Bb	15,239 Ab
SP81-3250	7,794 Bc	11,694 Ac
CTC15	5,871 Bd	11,548 Ac
CTC9	2,643 Ae	2,157 Ad
RB855156	1,422 Af	1,178 Ae
RB92579	1,005 Af	1,006 Ae
SP83-2847	0,671 Ag	0,566 Af
RB975952	0,234 Ag	0,137 Af
RB985476	0,125 Ag	0,206 Af
RB975201	0,112 Ag	0,090 Af
RB935744	0,067 Ag	0,029 Af
RB965917	0,029 Ag	0,005 Af
RB975242	0,027 Ag	0,046 Af
RB965902	0,014 Ag	0,041 Af
IACSP95-5000	0,009 Ag	0,002 Af
CTC20	0,007 Ag	0,000 Af
CTC2	0,003 Ag	0,005 Af
RB867515	0,001 Ag	0,001 Af
CTC4	0,000 Ag	0,000 Af
RB855453	0,000 Ag	0,082 Af
RB855536	0,000 Ag	0,000 Af
RB928064	0,000 Ag	0,002 Af
RB966928	0,000 Ag	0,000 Af
Média Total	1,771 B	2,602 A

¹ Dados transformados em $\sqrt{(x+1)}$ para a realização das análises estatísticas.

² Plantio: outubro/2014; avaliações em cana-planta: de janeiro/2015 a abril/2015. Corte: setembro/2015; avaliações em cana-soca: de dezembro/2015 a abril/2016.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Letras maiúsculas nas linhas e letras minúsculas nas colunas.

Apenas as variedades SP89-1115, RB72454, SP81-3250 e CTC15 tiveram um aumento significativo da AACPDR de cana-planta para cana-soca (Tabela 7); cabe ressaltar que essas foram as variedades mais suscetíveis à doença, considerando os dados do Experimento 1. Na Figura 3, estão apresentadas as curvas de progresso da ferrugem alaranjada nessas quatro variedades nos dois ciclos avaliados, onde é

possível observar que, em todas elas, as curvas de cana-soca ficaram acima das curvas de cana-planta.

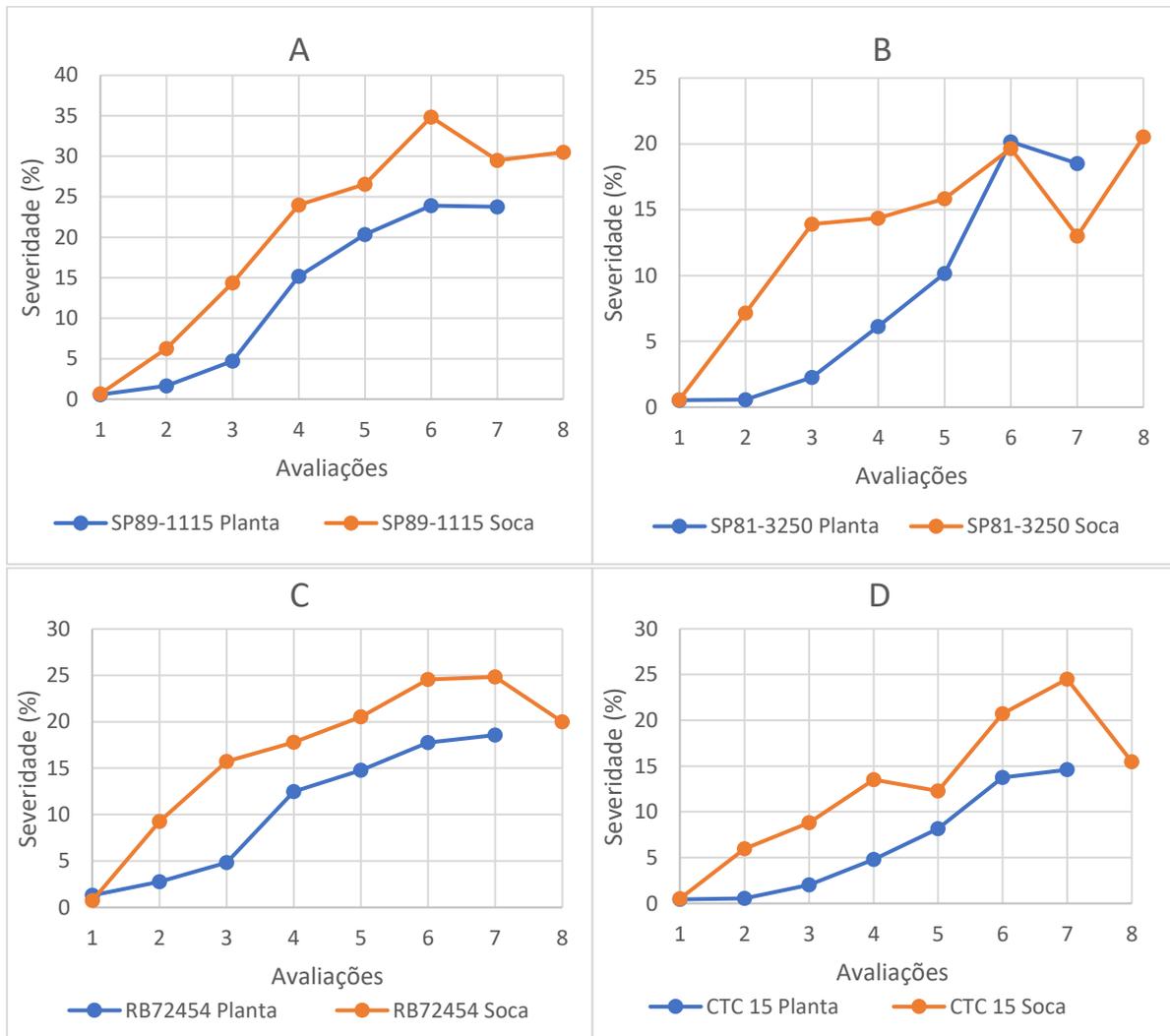


Figura 3. Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar nos ciclos de cana-planta e de cana-soca. A) SP89-1115; B) SP81-3250; C) RB72454; D) CTC15. Dados em porcentagem da terceira folha expandida afetada pela doença. Avaliações realizadas entre dezembro e maio, em intervalos de 15 a 20 dias. Cana-planta: anos 2014 e 2015; cana-soca: anos 2015 e 2016.

5.1.2. Dados meteorológicos - Experimento 1

Os dados de temperatura média, umidade relativa do ar e precipitação referentes ao Experimento 1, conduzido de outubro/2014 a abril/2015 em cana-planta, e de setembro/2015 a abril/2016 em cana-soca, estão disponíveis no Anexo A (pág. 51). Os dados de temperatura durante o ciclo de cana-planta estão apresentados na Figura 4A; a temperatura média foi de 23,5°C, com a maior temperatura média

registrada em janeiro/2015 (25,7°C) e a menor em abril/2015 (22,1°C). No ciclo de cana-soca, cujos dados são mostrados na Figura 4B, a temperatura média foi de 23,75°C, com a maior temperatura média registrada em fevereiro/2016 (24,7°C) e a menor em novembro/2015 (23,4°C).

Os dados de precipitação pluviométrica apresentados na Figura 4 mostram que o volume de chuvas no período de cana-planta (Figura 4A) foi de 868mm, enquanto que em cana-soca (Figura 4B) foi de 1134mm. A precipitação mensal máxima em cana-planta foi registrada em fevereiro/2015 (214,1mm) e a mínima em abril/2015 (8,1mm); em cana-soca, a máxima foi em novembro/2015 (297,2mm) e a mínima em abril/2016 (5,6mm).

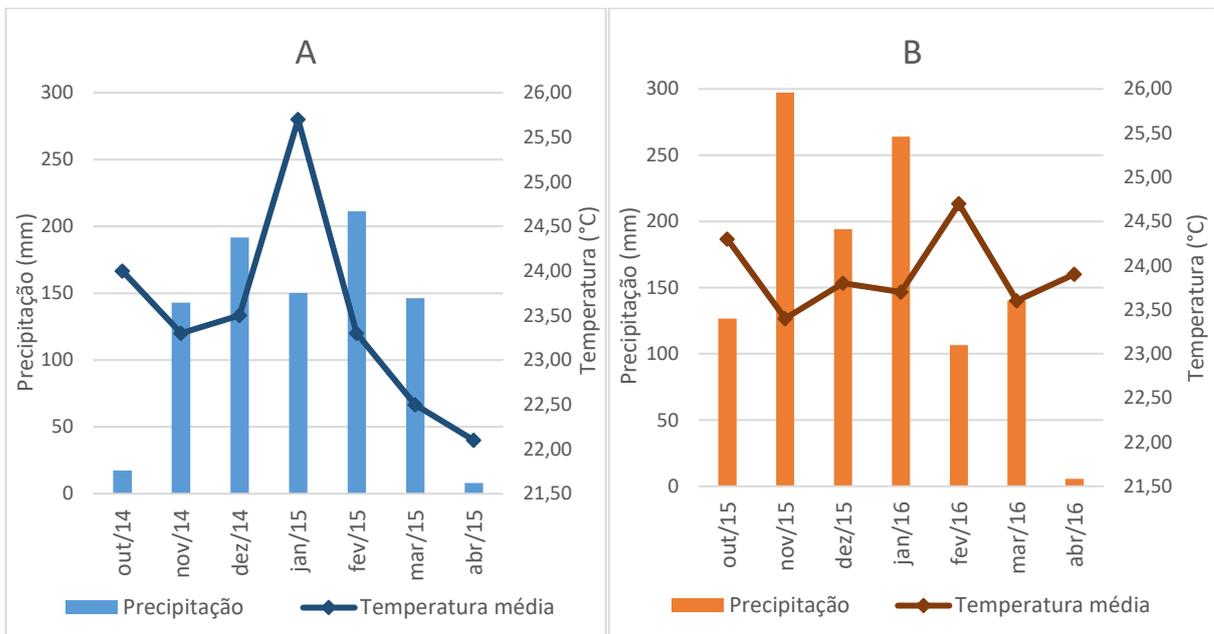


Figura 4. Precipitação pluviométrica, em mm mensais, e temperatura média, em °C, em Araras, SP, nos ciclos de: A) cana-planta (outubro de 2014 a abril de 2015); B) cana-soca (outubro de 2015 a abril de 2016).

Com os dados meteorológicos disponíveis no Anexo A (pág. 51), foi possível inferir o número de horas diárias favoráveis à germinação de urediniósporos de *P. kuehnii* durante a condução do Experimento 1, conforme metodologia de Araújo et al. (2013). A Figura 5 mostra que em janeiro esse número foi superior em cana-soca (2016); porém, de fevereiro a abril, o ciclo de cana-planta (2015) mostrou maior favorabilidade à germinação do patógeno. Não foi possível estabelecer o comparativo para os meses anteriores a janeiro, pois os dados horários não estavam disponíveis. Entretanto, considerando os dados de precipitação pluviométrica apresentados na

Figura 4, é provável que entre outubro e janeiro as condições tenham sido mais favoráveis à ferrugem alaranjada em cana-soca.

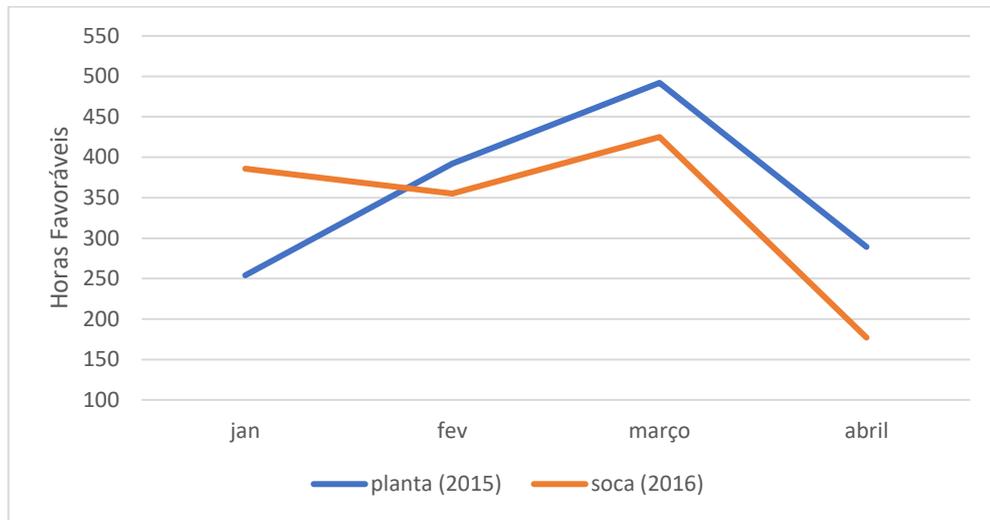


Figura 5. Número de horas mensais favoráveis à germinação de uredinósporos de *Puccinia kuehnii*, agente causal da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, nos ciclos de cana-planta (janeiro a abril de 2015) e de cana-soca (janeiro a abril de 2016) no município de Araras, SP.

5.2. Resultados do Experimento 2

O Experimento 2, conduzido entre os anos de 2018 e 2020, avaliou a reação de 24 genótipos de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada nos ciclos de cana-planta e de cana-soca. Na Tabela 8, é apresentado o quadro de análise de variância para a variável nota máxima de ferrugem alaranjada, onde é possível observar que houve diferença significativa a 1% entre as variedades e para a interação entre variedades e ciclos da cultura. Por outro lado, não houve diferença significativa entre os ciclos, considerando a nota máxima média dos genótipos avaliados.

Tabela 8. Análise de variância para nota máxima¹ de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 variedades de cana-de-açúcar em dois ciclos da cultura² (cana-planta e cana-soca).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	Pr>Fc
Variedade	23	24,2854	1,0559	101,609	0,0000**
Erro 1	48	0,4988	0,0104		
Ciclo	1	0,0068	0,0068	0,661	0,4203
Variedade*ciclo	23	1,0292	0,0447	4,344	0,0000**
Erro 2	48	0,4945	0,0103		
Total corrigido	143	26,3146			
CV 1 (%) =	5,40				
CV 2 (%) =	5,38				
Média geral:	1,8860	Número de observações:		144	

¹ Amorim et al. (1987). Dados transformados em $\sqrt{(x + 1)}$ para a realização das análises estatísticas.

² Plantio: outubro/2018; avaliações em cana-planta: de janeiro/2019 a abril/2019. Corte: outubro/2019; avaliações em cana-soca: de janeiro/2020 a maio/2020.

** Significativo a 1% de probabilidade.

A Tabela 9 mostra os resultados de nota máxima de ferrugem alaranjada dos 24 genótipos em cana-planta e em cana-soca. No ciclo de cana-planta, os genótipos foram divididos em seis agrupamentos. No primeiro deles ficaram as variedades SP89-1115 e CTC15, que apresentaram as maiores notas máximas, seguidas da SP81-3250, que formou, sozinha, o segundo nível. O terceiro grupo foi composto pelas variedades RB855156, SP83-2847 e RB975952. O quarto grupo foi formado pelos genótipos RB867515, RB835054, RB92579, RB855453 e RB855035, que apresentaram notas máximas abaixo de 3. Em seguida, o quinto grupo foi representado pelos genótipos RB975201, RB985476, RB965902, RB975242, RB966928, CTC4, RB835486, RB855536 e CTC20. Finalmente, o sexto grupo foi composto pelas variedades SP80-1842, SP80-3280 CTC9001 e RB928064, que mostraram as menores notas máximas da doença em cana-planta; as duas últimas desse grupo não apresentaram sintomas ao longo das avaliações conduzidas nesse ciclo.

Assim como em cana-planta, a Tabela 9 mostra que, em cana-soca, as variedades foram divididas em seis agrupamentos. O primeiro grupo foi novamente representado pelas variedades SP89-1115 e CTC15, seguidas pela SP81-3250, sozinha no segundo grupo. As variedades RB855156, SP83-2847 e RB855453 compuseram o terceiro nível, enquanto o quarto grupo foi formado pelos genótipos

RB975952, RB835054, RB92579, RB855035 e RB965902, que apresentaram notas máximas inferiores a 3. As variedades RB867515, RB975201, RB985476, RB975242, RB966928, RB855536 e CTC20 foram classificadas no quinto agrupamento e, finalmente, o sexto grupo foi representado pelas variedades SP80-3280, CTC4, RB835486, SP80-1842, CTC9001 e RB928064, que apresentaram as menores notas máximas da doença em cana-soca; as cinco últimas desse grupo não apresentaram sintomas ao longo das avaliações nesse ciclo. Apenas as variedades CTC9001 e RB928064 foram assintomáticas em ambos os ciclos da cultura. Os genótipos CTC15, SP81-3250, RB855453 e RB965902 apresentaram aumentos significativos de nota máxima de severidade de cana-planta para cana-soca; por outro lado, os genótipos RB975952, CTC4 e RB835486 apresentaram reduções de nota máxima de cana-planta para cana-soca.

Tabela 9. Nota máxima¹ de ferrugem alaranjada em 24 variedades de cana-de-açúcar, avaliadas nos ciclos² de cana-planta e de cana-soca.

Variedade	Nota	
	Planta	Soca
SP89-1115	7,3 Aa	8,0 Aa
CTC15	6,7 Ba	8,0 Aa
SP81-3250	5,3 Bb	6,7 Ab
RB855156	3,7 Ac	4,0 Ac
SP83-2847	3,3 Ac	4,0 Ac
RB975952	3,0 Ac	2,3 Bd
RB867515	2,7 Ad	2,0 Ae
RB835054	2,7 Ad	2,3 Ad
RB92579	2,7 Ad	2,7 Ad
RB855453	2,3 Bd	4,0 Ac
RB855035	2,3 Ad	2,7 Ad
RB975201	2,0 Ae	2,0 Ae
RB985476	2,0 Ae	2,0 Ae
RB965902	2,0 Be	2,7 Ad
RB975242	2,0 Ae	2,0 Ae
RB966928	2,0 Ae	2,0 Ae
CTC4	2,0 Ae	1,0 Bf
RB835486	2,0 Ae	1,0 Bf
RB855536	2,0 Ae	2,0 Ae
CTC20	1,7 Ae	1,7 Ae
SP80-1842	1,3 Af	1,0 Af
SP80-3280	1,3 Af	1,3 Af
CTC9001	1,0 Af	1,0 Af
RB928064	1,0 Af	1,0 Af
Média Total	2,7 A	2,8 A

¹ Escala de Amorim et al. (1987). Dados transformados em $\sqrt{(x+1)}$ para a realização das análises estatísticas.

² Plantio: outubro/2018; avaliações em cana-planta: de janeiro/2019 a abril/2019. Corte: outubro/2019; avaliações em cana-soca: de janeiro/2020 a maio/2020.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras maiúsculas na linha e letras minúsculas na coluna.

Em relação à área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AAPDR), a análise de variância apresentada na Tabela 10 mostra que houve diferença significativa a 1% para variedades, ciclos e para a interação entre variedades e ciclos.

Tabela 10. Análise de variância para a área abaixo da curva de progresso da doença relativa¹ de 24 variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada nos ciclos² de cana-planta e de cana-soca.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	Pr>Fc
Variedade	23	77,5621	3,3723	216,286	0,0000**
Erro 1	48	0,7484	0,0156		
Ciclo	1	1,4320	1,4320	144,648	0,0000**
Variedade*ciclo	23	6,8815	0,2992	30,222	0,0000**
Erro 2	48	0,4752	0,0099		
Total corrigido	143	87,0992			
CV 1 (%) =	9,11				
CV 2 (%) =	7,26				
Média geral:	1,3700	Número de observações:		144	

¹ Dados transformados em $\sqrt{(x + 1)}$ para a realização das análises estatísticas.

² Plantio: outubro/2018; avaliações em cana-planta: de janeiro/2019 a abril/2019. Corte: outubro/2019; avaliações em cana-soca: de janeiro/2020 a maio/2020.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Os dados de AACPDR de cada variedade nos ciclos de cana-planta e de cana-soca são mostrados na Tabela 11. Nela, é possível observar que, em cana-planta, os genótipos foram classificados em cinco agrupamentos, com os três primeiros representados por um genótipo cada, em ordem decrescente de AACPDR: SP89-1115, CTC15 e SP81-3250. Em seguida, o quarto grupo foi composto pelas variedades RB855156, SP83-2847, RB867515, RB975952, RB92579, RB855453, RB835054, RB855035 e RB975201. Por fim, no quinto grupo estavam presentes as variedades RB985476, RB965902, RB975242, RB966928, CTC4, RB835486, RB855536, CTC20, SP80-1842, SP80-3280, CTC9001 e RB928064, que apresentaram os menores valores de AACPDR em cana-planta.

De maneira semelhante ao ciclo de cana-planta, a Tabela 11 mostra que, em cana-soca, os genótipos foram divididos em cinco agrupamentos, em ordem decrescente de AACPDR. O primeiro deles foi composto pelas variedades SP89-1115 e CTC15, seguidas pelas variedades SP81-3250 e RB855453, que compuseram, sozinhas, o segundo e o terceiro grupo, respectivamente. Os genótipos RB855156, SP83-2847, RB867515, RB975952, RB92579, RB835054 e RB855035 formaram o quarto grupo e, por fim, no quinto grupo ficaram as variedades RB975201, RB985476, RB965902, RB975242, RB966928, CTC4, RB835486, RB855536, CTC20, SP80-1842, SP80-3280, CTC9001 e RB928064, que apresentaram os menores valores de AACPDR em cana-soca.

Tabela 11. Área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AAPDR¹) de 24 variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada nos ciclos² de cana-planta e de cana-soca.

Variedade	AAPDR	
	Planta	Soca
SP89-1115	8,583 Ba	18,194 Aa
CTC15	6,504 Bb	17,205 Aa
SP81-3250	3,035 Bc	8,887 Ab
RB855156	0,665 Ad	0,764 Ad
SP83-2847	0,509 Ad	0,805 Ad
RB92579	0,430 Ad	0,439 Ad
RB975952	0,401 Ad	0,409 Ad
RB835054	0,383 Ad	0,428 Ad
RB867515	0,370 Ad	0,387 Ad
RB855453	0,338 Bd	1,438 Ac
RB855035	0,334 Ad	0,434 Ad
RB975201	0,329 Ad	0,245 Ae
RB975242	0,060 Ae	0,044 Ae
RB966928	0,047 Ae	0,211 Ae
RB985476	0,044 Ae	0,109 Ae
RB965902	0,038 Ae	0,303 Ae
RB835486	0,013 Ae	0,000 Ae
CTC4	0,011 Ae	0,000 Ae
RB855536	0,007 Ae	0,005 Ae
CTC20	0,005 Ae	0,004 Ae
SP80-3280	0,004 Ae	0,006 Ae
SP80-1842	0,002 Ae	0,000 Ae
CTC9001	0,000 Ae	0,000 Ae
RB928064	0,000 Ae	0,000 Ae
Média Total	0,902 B	2,063 A

¹ Dados transformados em $\sqrt{(x+1)}$ para a realização das análises estatísticas.

² Plantio: outubro/2018; avaliações em cana-planta: de janeiro/2019 a abril/2019. Corte: outubro/2019; avaliações em cana-soca: de janeiro/2020 a maio/2020.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de significância. Letras maiúsculas na linha e letras minúsculas na coluna.

No Experimento 2, apenas os genótipos SP89-1115, SP81-3250, CTC15 e RB855453 tiveram aumentos significativos de AAPDR de cana-planta para cana-soca (Tabela 11). Na Figura 4, são mostradas as curvas de progresso da doença nessas quatro variedades nos dois ciclos avaliados, onde é possível notar claramente que as curvas referentes ao ciclo de cana-soca foram superiores às de cana-planta.

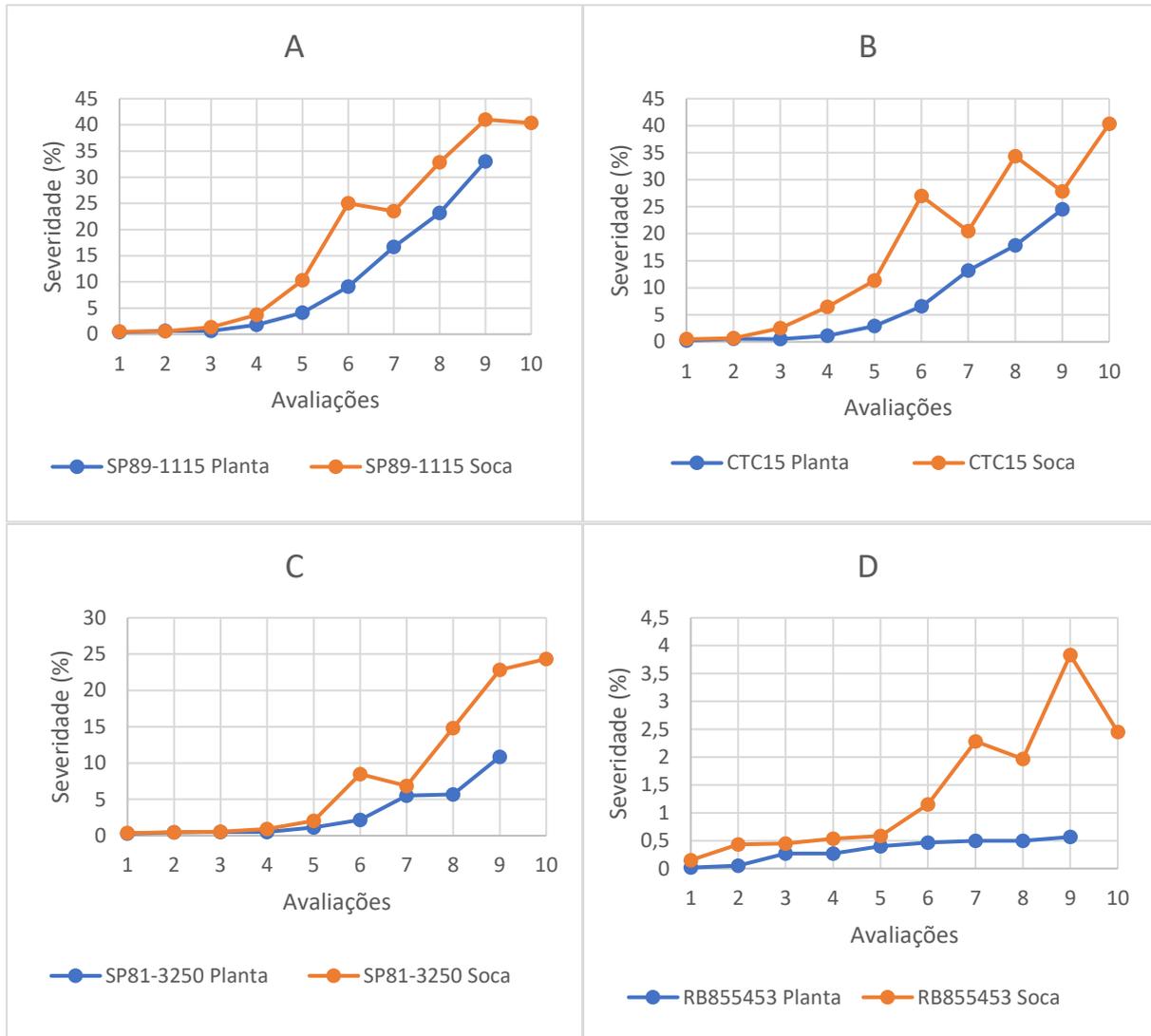


Figura 6. Curvas de progresso da ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar nos ciclos de cana-planta e de cana-soca. A) SP89-1115; B) CTC15; C) SP81-3250; D) RB855453. Dados em porcentagem da terceira folha expandida afetada pela doença. Avaliações realizadas entre dezembro e maio, em intervalos de 15 a 20 dias. Cana-planta: anos 2018 e 2019; cana-soca: anos 2019 e 2020.

5.2.1. Dados meteorológicos - Experimento 2

Os dados mensais de temperatura média e precipitação pluviométrica do Experimento 2, conduzido de outubro/2018 a abril/2019 em cana-planta, e de outubro/2019 a maio/2020 em cana-soca, estão disponíveis no Anexo B (pág. 52). Os dados de temperatura mensal em cana-planta estão apresentados na Figura 7A; a temperatura média do período foi de 23,8°C, com a máxima registrada em janeiro/2019 (25,5°C) e a mínima em abril/2019 (22,8°C). Em cana-soca, cujos dados

são mostrados na Figura 7B, a temperatura média foi de 23,9°C, com a máxima registrada em dezembro/2019 (25°C) e a mínima em novembro/2019 (23,2°C).

Os dados de precipitação pluviométrica apresentados na Figura 7 mostram que a precipitação total do período em cana-planta foi de 1290mm (Figura 7A), enquanto que em cana-soca foi de 1002,8mm (Figura 7B). A precipitação máxima registrada em cana-planta foi de 230,1mm em fevereiro/2019 e a mínima foi de 102mm em dezembro/2018 (Figura 7A). Em cana-soca, a precipitação máxima foi de 280,4mm em janeiro/2020 e a mínima foi de 2mm em abril/2020 (Figura 7B). Observando-se a Figura 7, é possível notar que em cana-planta o volume de chuvas foi superior nos meses de outubro, novembro, março e abril, enquanto que de dezembro a fevereiro houve maior volume de chuvas no ciclo de cana-soca. Para o Experimento 2, não foi possível inferir o número de horas mensais favoráveis à germinação de uredinósporos de *P. kuehni* devido à falta de dados climáticos horários de umidade relativa e de temperatura.

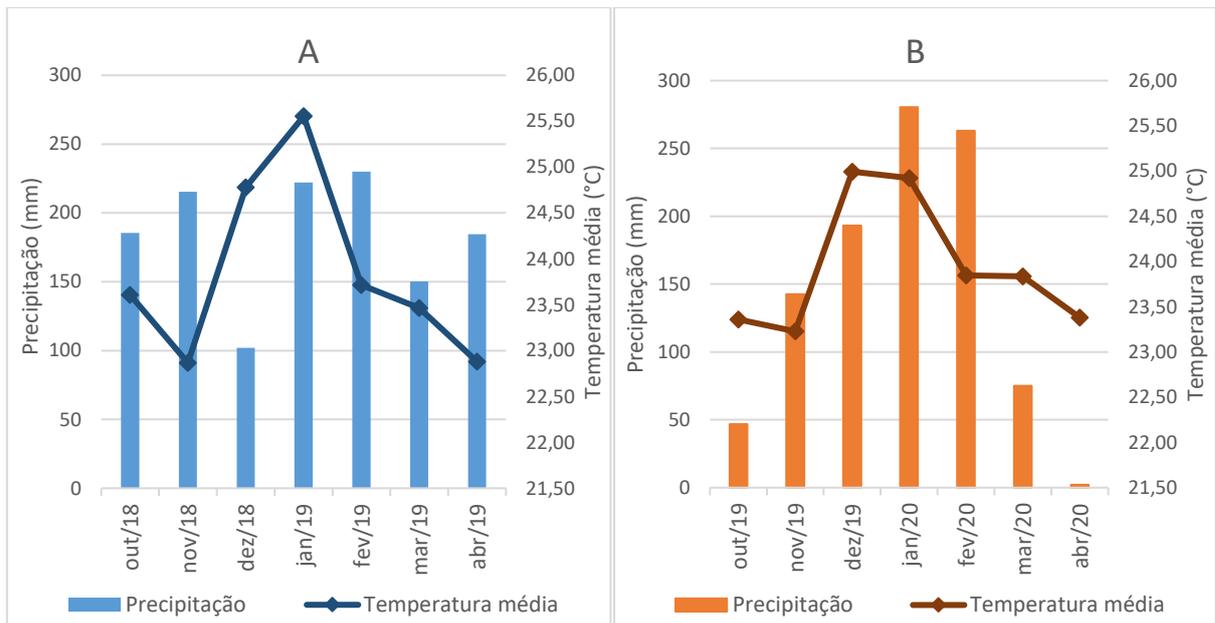


Figura 7. Precipitação pluviométrica, em mm mensais, e temperatura média, em °C, em Araras, SP, nos ciclos de: A) cana-planta (outubro de 2018 a abril de 2019); B) cana-soca (outubro de 2019 a abril de 2020).

5.5. Discussão

O presente trabalho avaliou a reação de genótipos de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada em dois diferentes ciclos de cultivo (cana-planta e cana-soca). No Experimento 1, conduzido entre os anos de 2014 e 2016, apenas a variável AACPDR demonstrou diferença significativa entre os ciclos, considerando a média dos 24 genótipos avaliados, sendo superior em cana-soca (Tabela 6, pág. 28). As variedades SP89-1115, RB72454, SP81-3250 e CTC15 foram as mais suscetíveis à doença e as únicas que mostraram aumentos de AACPDR de cana-planta para cana-soca; isto pode ser explicado pelo aparecimento precoce dos sintomas na soqueira (Figura 3, pág. 30), uma vez que as notas máximas de severidade nessas variedades não diferiram estatisticamente entre os ciclos (Tabela 5, pág. 27). Apenas nos genótipos CTC15 e RB855453 foram observados aumentos de notas máximas de cana-planta para cana-soca (Tabela 5, pág. 27); entretanto, nos dois ciclos avaliados, a variedade CTC15 não diferiu estatisticamente das mais suscetíveis à doença, enquanto que a RB855453 permaneceu entre os dois grupos formados pelas variedades com menores níveis de sintomas. A RB975242 apresentou diminuição de nota máxima de cana-planta para cana-soca; no entanto, assim como a RB855453, a RB975242 permaneceu entre as variedades mais resistentes à doença em ambos os ciclos.

No Experimento 2, conduzido entre os anos de 2018 a 2020, a variável AACPDR foi superior no ciclo de cana-soca, considerando a média dos 24 genótipos avaliados (Tabela 11, pág. 37), assim como observado no Experimento 1. Novamente, as variedades SP89-1115, CTC15 e SP81-3250, que foram as mais suscetíveis do experimento, apresentaram aumentos significativos de AACPDR de cana-planta para cana-soca, juntamente com a RB855453, que não estava entre os genótipos de maior suscetibilidade à doença. Nessas quatro variedades, a partir da terceira avaliação de severidade, as curvas de progresso da doença em cana-soca apresentaram uma inclinação superior em comparação às curvas de cana-planta (Figura 6, pág. 38). Em relação às notas máximas médias das variedades estudadas, não houve diferença significativa entre os ciclos (Tabela 8, pág. 33), de maneira semelhante ao ocorrido no Experimento 1; no entanto, de cana-planta para cana-soca, as variedades CTC15, SP81-3250, RB855453 e RB965902 apresentaram aumentos de notas máximas, enquanto que os genótipos RB975952, CTC4 e RB835486 apresentaram reduções.

Apesar dessas alterações, somente a variedade RB855453 apresentou reação diferente entre os ciclos avaliados: em cana-planta, comportou-se como um genótipo resistente à doença, mas em cana-soca mostrou reação intermediária.

A alta estabilidade das variedades de cana-de-açúcar resistentes à ferrugem alaranjada para as variáveis nota máxima e AACPDR demonstram que a seleção para resistência nos programas de melhoramento pode ser realizada em qualquer um dos ciclos; entretanto, foi observado que à medida que as variedades se mostram mais suscetíveis, há a necessidade de avaliações em mais de um ciclo para classificá-las adequadamente. Estas informações são importantes para os programas de melhoramento, pois não é necessário plantar novos experimentos todos os anos para manter os genótipos em constante monitoramento, isto é, o mesmo experimento pode ser avaliado, pelo menos, por dois anos consecutivos.

Nos dois experimentos, o clima poderia ser uma das explicações para os maiores valores de AACPDR terem sido observados em cana-soca. No Experimento 1, conduzido de outubro/2014 a abril/2015 em cana-planta e de setembro/2015 a abril/2016 em cana-soca, é possível observar na Figura 5 (pág. 32) que o mês de janeiro foi mais favorável à ferrugem alaranjada em cana-soca. Além disso, nos quatro meses anteriores (outubro a dezembro), o volume de chuvas foi superior em cana-soca (Figura 4, pág. 31), indicando para uma maior favorabilidade à germinação de urediniosporos de *P. kuehnii* nesse ciclo. Maiores volumes de chuva e alta umidade relativa do ar favorecem a intensidade da epidemia; segundo Martins (2010), quanto maior o número de horas de molhamento foliar, menor o período de incubação de *P. kuehnii* e mais rápido será o ciclo da doença. Quando considerado o período de outubro a abril, a precipitação em cana-soca (2015/16) foi 266,2mm superior em relação à cana-planta (2014/15). Para o Experimento 2, conduzido de outubro/2018 a abril/2019 em cana-planta e de outubro/2019 a abril/2020 em cana-soca, a Figura 7 (pág. 39) mostra que em cana-planta a precipitação foi 287,2mm superior em relação à cana soca, com as maiores diferenças nos meses de outubro e abril. Como sugerido anteriormente, o clima pode ter influenciado nos resultados, principalmente no Experimento 1; porém, essa hipótese não se confirmou no Experimento 2, no qual o volume de chuvas foi superior em cana-planta. Além disso, em ambos os ensaios, de maneira geral, as variedades resistentes e intermediárias não apresentaram alterações significativas de AACPDR de um ciclo para o outro. Portanto, há indícios

de que os maiores valores de AACPDR observados em cana-soca resultam de um aumento da sensibilidade à doença nas variedades suscetíveis nesse ciclo. Zuza & Borsato (2013) relataram que em áreas cultivadas com a variedade SP89-1115, suscetível à ferrugem alaranjada, foi observado que soqueiras em cortes mais avançados sofreram mais com a doença. No presente estudo, nos dois experimentos realizados, notou-se a mesma tendência nas variedades de maior suscetibilidade; apesar das notas máximas terem sofrido variações pouco relevantes de cana-planta para cana-soca, os valores de AACPDR foram significativamente superiores em cana-soca.

Dentre as variáveis analisadas, a AACPDR foi aquela que apontou mais diferenças entre as variedades em relação à resposta à ferrugem alaranjada, pois seu cálculo envolve todas as avaliações de severidade da doença, fornecendo uma visão mais ampla do curso da epidemia. Nas variedades suscetíveis, foram observadas diferenças significativas de AACPDR entre os ciclos avaliados, mesmo que ao final da epidemia essas variedades não apresentassem alterações significativas nas notas máximas de severidade de cana-planta para cana-soca. A análise gráfica da AACPDR apontou para um aparecimento precoce dos sintomas em cana-soca no Experimento 1 (Figura 3, pág. 30) e para um aumento da doença, também em cana-soca, a partir de janeiro no Experimento 2 (Figura 6, pág. 38).

Araújo et. al (2013) monitoraram genótipos de cana-de-açúcar quanto à reação à ferrugem alaranjada em Valparaíso, SP, em condições naturais de infecção, usando linhas infectoras e com avaliações realizadas em cana-planta. Em grande parte, os resultados encontrados pelos autores se assemelham aos do presente estudo; entretanto, as variedades CTC15 e SP81-3250 foram classificadas como moderadamente resistentes à ferrugem alaranjada por Araújo et al. (2013), enquanto que, no presente estudo, essas variedades apresentaram comportamento próximo ou semelhante ao da variedade suscetível SP89-1115. Outra variedade que demonstrou reação à ferrugem alaranjada diferente no presente estudo em relação a estudos semelhantes foi a SP83-2847: classificada como resistente por Araújo et al. (2013) e Chapola (2013), essa variedade, no presente trabalho, apresentou nota máxima acima de 3 em ambos os experimentos e AACPDR próxima ou pouco inferior à RB855156; dessa maneira, a SP83-2847 poderia ser classificada como intermediária à ferrugem alaranjada. Klosowski et al. (2015), avaliando genótipos RB de cana-de-açúcar quanto

à reação à ferrugem alaranjada em condições naturais de infecção no Estado do Paraná, encontraram resultados semelhantes aos do presente estudo. Entretanto, a variedade RB835486 se comportou como intermediária a moderadamente resistente no trabalho de Klosowski et al. (2015), enquanto que, no presente trabalho, a RB835486 mostrou resistência à doença.

Hoepers et al. (2020), analisando a reação de variedades de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada utilizando inoculação artificial, encontraram alguns resultados diferentes do presente estudo. Os autores classificaram as variedades RB72454 e SP81-3250 como moderadamente suscetível e suscetível, respectivamente. Por outro lado, no Experimento 1 do presente trabalho, os dados apontaram o contrário: apesar de não diferirem em relação à nota máxima, a RB72454 apresentou maior suscetibilidade em comparação à SP81-3250, considerando a AACPDR. Métodos de inoculação artificial têm como uma das desvantagens considerar apenas um ciclo de desenvolvimento da doença; no presente estudo, conduzido a campo e em condições naturais de infecção, ao determinar a AACPDR como uma das variáveis para comparação entre os genótipos, foi possível considerar várias avaliações de severidade ao longo da epidemia, o que proporcionou uma visão mais próxima da realidade quando se trata da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.

6. CONCLUSÃO

O ciclo de cana-soca é mais favorável à ferrugem alaranjada, em particular nas variedades suscetíveis à doença.

Variedades resistentes e intermediárias, de maneira geral, não sofrem alterações relevantes em relação à resposta à ferrugem alaranjada de um ciclo para outro.

Recomenda-se que experimentos para avaliação da resposta de genótipos de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada sejam conduzidos durante, pelo menos, dois ciclos (cana-planta e cana-soca).

A variável AACPDR é a mais adequada para determinar a reação de genótipos de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada, pois seu cálculo considera diversas avaliações de severidade realizadas durante a epidemia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA JÚNIOR, A. B. DE; NASCIMENTO, C W. A. DO; SOBRAL, M. F; SILVA, F. B. V. DA; GOMES, WELLINGTON A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 15, n. 10, out. 2011, p. 1004-1013. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011001000003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 23 Mar. 2020.
- 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, 1987, p. 13-16.
- ARAÚJO, K. L.; CANTERI, M. G.; GILIO, T. A. S.; NEUBAUER, R. A.; SANCHES, P. B.; SUMIDA, C. H.; GIGLIOTI, E. A. Resistência genotípica e monitoramento da favorabilidade para ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Summa phytopathol.**, Botucatu, v. 39, n.4, Dec. 2013, p.271-274. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-54052013000400007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 25 Mar. 2020.
- BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; BRESSIANI, J.; SANGUINO, A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, São Paulo, v. 94, n. 9, 2010, p. 1170.
- BARBOSA, G. V. S. **Contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira de Alagoas**, 2014. 113 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- BUTTERFIELD, M. K.; A D'HONT; A. BERDING, N. The sugarcane genome: a synthesis of current understanding, and lessons for breeding and biotechnology. **Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass.** 2001. p. 5.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant diseases epidemiology**. New York: Wiley-Interscience, 1990. 532p.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **“A dinâmica dos empregos formais na agroindústria sucroenergética de 2000 a**

2016". 2018. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/especiais-tematicos.aspx>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

CESNIK, R. **Melhoramento da cana-de-açúcar**: marco sucro-alcooleiro no Brasil. Brasília. 2007. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/15939/melhoramento-da-cana-de-acucar-marco-sucro-alcooleiro-no-brasil>>. Acesso em: 21 Out. 2020.

CHAPOLA, R. G. **Reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*)**, 2013. 78 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

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. **Trop. plant pathol.** V. 41, 2016, p. 139–146.

CHAVARRÍA E.; SUBIRÓS F.; VEGA J.; RALDA G.; GLYNN N. C.; COMSTOCK J. C.; CASTLEBURY L. A. First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Costa Rica and Nicaragua. **Plant Disease**. 2009, 93:425.

CHAVES, A.; NETO, D. E. S.; ADE DUTRA FILHO, J. A.; OLIVEIRA, A. C.; RODRIGUES, W. D. L.; PEDROSA, E. M. R.; ES BORGES, V. J. L.; FRANÇA, P. R. P. Presence of orange rust on sugarcane in the state of Pernambuco, Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 38 n. 5, 2013. p. 443-446.

COLLETTE, L. P. **Controle químico da ferrugem alaranjada na cultura da cana-de-açúcar** 2016. 39 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

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

COMSTOCK, J. C.; RAID, R. N. Sugarcane common rust. In: Current Trends in Sugarcane Pathology (Pro. K. S. Bhargava Festschrift), RAO, G. P.; GILLASPIE JR., A. G.; UPADHYAYA, P. P.; BERGAMIN FILHO, A.; AGNIHOTRI, V. P.; CHEN, C. T. (Eds.), **New Delhi: International Books and Periodical Supply Service**, 1994. p. 1-10.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana: safra 2020/21 cana-de-açúcar**. Brasília, v.7, n. 2, p. 603, 2020

CURSI, D. E. **Análise comparativa de diferentes métodos de seleção em fases iniciais de melhoramento de cana-de-açúcar**, 2016. 72 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

FERRARI, J. T.; HARAKAVA, R.; DOMINGUES, R. J.; TERÇARIOL, I. M. L. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. Documento Técnico 005. 2010. P. 1-8.

FLORES, R. C.; LOYO, J. R.; OJEDA, R. A.; RANGEL, O. C. A. First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuenhii* in Mexico, El Salvador, and Panama. **Plant Disease** 93:1347. 2009.

GAZAFFI, R. **Desenvolvimento de modelo genético-estatístico para mapeamento de QTLs em progênies de irmãos completos, com aplicação em cana-de-açúcar**, 2009. 103f. Tese (Doutorado em Agrônoma) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

GAZAFFI, R.; CURSI, D. E.; CHAPOLA R. G.; SANTOS, J. M.; FERNANDES-JR A. R.; CARNEIRO, M. S.; BARBOSA, G. V. S.; HOFFMANN, H. P. RB varieties: a major contribution to the sugarcane industry in Brazil. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, volume 29, 1677-1682, 2016.

HOEPERS, L. M. L.; FIORI-TUTIDA, A. C. G.; RUARO, L., CALEGARIO, R. F.; OLIVEIRA, R. A.; DUARTE, H. S. S. Reaction of sugarcane genotypes to brown and to orange rust by leaf whorl inoculation. **Ciência Rural**, v. 50, n. 7, 2020.

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

JUNQUEIRA, R. A. R. **Programação das frentes de colheita de cana-de-açúcar: uma modelagem visando o equilíbrio das capacidades de colheita e transporte**. 2014. 257 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

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, 2015, p.489-498.

KLOSOWSKI, A. C.; RUARO, L.; FRAGOSO, R. B.; 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**, v. 38 n. 2. 2013, p.166-171.

LIMA, L. L. **Aspectos epidemiológicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehni*)**. 2013, 65 p. Tese (Doutorado em Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/105144>>. Acesso em: 14 set. 2020.

MAGAREY, R. C. Orange rust disease of sugarcane. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.**, Vol. 27, 2010, p. 9.

MAGAREY, R. C.; CROFT B. J.; WILLCOX, T. G. An epidemic of orange rust on sugarcane in Australia. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.**, v. 24, 2001, p. 410-416.

MARTIN, L.A.; LLOYD EVANS D.; CASTLEBURY, L. A.; SIFUNDZA, J. T.; COMSTOCK, J. C.; RUTHERFORD, R. S.; MCFARLANE, S. A. *Macruropyxis fulva* sp. nov., a new rust (Pucciniales) infecting sugarcane in southern Africa. (in press). **Australasian Plant Pathol.** v.46, p.63–74, 2017.

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

MATSUOKA, S.; FERRO, J.; ARRUDA, P. The Brazilian experience of sugarcane ethanol industry. In **Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, [S.I.], v.45, p.372–381, 2009

MIRANDA-STALDER, S. H. G. & BURNQUIST, H. L. A importância dos subprodutos da cana-de-açúcar no desempenho do setor agroindustrial. **Revista de economia e sociologia rural**. Vol. 34 n. 3. 1996, p.103-119.

MISTURA, T. F. **Fatores que influenciam no sucesso e longevidade do controle das ferrugens da cana-de-açúcar por variedades resistentes**. 2016. 59f. Tese

(Mestrado em produção vegetal e bioprocessos associados) Centro De Ciências Agrárias, Universidade Federal De São Carlos, Araras, 2016.

MORAIS, L. K.; AGUIAR, M. S.; SILVA, P. A.; CÂMARA, T. M. M.; CURSI, D. E.; FERNANDES JUNIOR, A. R.; CHAPOLA, R. G.; CARNEIRO, M. S.; BESPALHOK FILHO, J. C. Breeding of Sugarcane. In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. Industrial Crops: breeding for bioenergy and bioproducts. **Springer**, 2015, 444 p.

OVALLE SÁENZ, W; OROZCO, H.; FONG, E.; GARCÍA, S. The effect of orange rust (*Puccinia kuehnii*) on sugar yield in six sugarcane varieties in Guatemala. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.**, Vol. 27, 2010.

OVALLE, W.; COMSTOCK, J. C.; GLYN, N. C.; CASTLEBURY, L. A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Guatemala. **Plant Disease** 92:973. 2008.

PEIXOTO, T.C. **Estudo complementar ao melhoramento genético da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 119 p. 1986.

PÉREZ-VICENTE, L. F.; MARTÍN-TRIANA, E. L.; BARROSO, F.; MARTÍNEZ-DE LA PARTE, E.; BORRÁS-HIDALGO, O., HERNÁNDEZ-ESTÉVEZ, I. Definitive identification of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuenhii* in Cuba. **Plant Pathology**, v. 59, 2010, p.804 - 804.

RAID, R. N. Orange rust of sugarcane: its importance and prospects for its control. **Proceedings of the Caribbean Food Crops Society**.v. 46 p. 65-73. 2010.

RAMOS, R. P. **Planejamento do plantio e da colheita de cana-de-açúcar utilizando técnicas matemáticas de otimização**. 2014. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de ciências agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

SOOD, S. G.; COMSTOCK, J. C.; GLYNN, N. C. Leaf Whorl Inoculation Method for Screening Sugarcane Rust Resistance. **Plant Disease**. V. 93, N. 12, 2009. P. 1335-1340.

SOUTINHO, L. C. **A aprendizagem na produção de bioenergia canavieira da indústria de segunda geração: o caso Granbio**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado

em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 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)**, Itapetininga, v. 5, n.5, out./dez., 2018, p. 32-47.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) baseados em parâmetros do solo e do clima**. 2003. 86 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar), **Balanco de atividades 2012/13 a 2018/19**. 38p. 2019. Disponível em: <<https://unica.com.br/comunicacao/publicacoes/>> Acesso em: 26 de out. 2020.

UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar), **Observatório da cana**. Disponível em <<https://observatoriodacana.com.br/>> Acesso em 05 de nov de 2020

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

ZUZA, J.L.M.F.; BORSATO, L.M.S.L. Análise de perdas agrícolas e econômicas ocasionada pela doença ferrugem alaranjada em canaviais comerciais de uma empresa de bioenergia no interior de São Paulo. Anais. **XX Congresso Brasileiro de Custos** – Uberlândia, MG, 2013,13p.

ANEXO A

Dados meteorológicos mensais durante o período de setembro de 2014 a abril de 2016 em Araras, SP.

Mês / Ano	Temp. média (°C) ^(a)	Umidade relativa média (%) ^(a)	Precipitação (mm) ^(b)
Setembro / 14	22,2	74,4	108,8
Outubro / 14	24	66,9	17,3
Novembro / 14	23,3	83,8	143,0
Dezembro / 14	23,5	88,1	191,7
Janeiro / 15	25,7	83,8	150,2
Fevereiro / 15	23,3	91,5	211,4
Março / 15	22,5	93,3	146,3
Abril / 15	22,1	88,0	8,1
Mai / 15	19,3	90,8	122,6
Junho / 15	18,8	87,0	5,2
Julho / 15	18,8	86,4	28,2
Agosto / 15	20,7	70,4	16,7
Setembro / 15	22,6	78,4	136,1
Outubro / 15	24,3	80,4	126,5
Novembro / 15	23,4	92,8	297,2
Dezembro / 15	23,8	92,6	194,0
Janeiro / 16	23,7	91,5	263,9
Fevereiro / 16	24,7	89,8	106,7
Março / 16	23,6	91,6	140,3
Abril / 16	23,9	81,2	5,6

Fonte: (a) <http://www.meteorologia-ara.ufscar.br/dados-meteorologicos/estacao-meteorologica-automatica-ema/dados/> (b) <http://saema.com.br/pluviometria/>

ANEXO B

Dados meteorológicos mensais durante o período de setembro de 2018 a abril de 2020 em Araras, SP.

Mês / Ano	Temp. média (°C) ^(c)	Umidade relativa média (%) ^(a)	Precipitação (mm) ^(b)
Setembro / 18	22,2	82	68,4
Outubro / 18	23,6	90	185,5
Novembro / 18	22,9	91,8	215,4
Dezembro / 18	24,8	-	102,0
Janeiro / 19	25,6	-	222,2
Fevereiro / 19	23,7	91,3	230,1
Março / 19	23,5	91,2	150,3
Abril / 19	22,9	89,4	184,5
Maio / 19	20,6	90,5	38,5
Junho / 19	18,8	84,3	11,5
Julho / 19	17,2	79	24,0
Agosto / 19	18,2	78,7	15,3
Setembro / 19	22,0	-	43,9
Outubro / 19	23,4	-	46,7
Novembro / 19	23,2	-	142,5
Dezembro / 19	25,0	-	193,2
Janeiro / 20	24,9	-	280,4
Fevereiro / 20	23,8	-	263,0
Março / 20	23,8	-	75
Abril / 20	23,4	-	2

Fonte: (a) <http://www.meteorologia-ara.ufscar.br/dados-meteorologicos/estacao-meteorologica-automatica-ema/dados/> (b) <http://saema.com.br/pluviometria/> (c) <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>