



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



PEDRO OLIVEIRA MORAES

**Importância, diagnose e métodos de inoculação de *Xanthomonas albilineans*, agente causal da
escaldadura-das-folhas em cana-de-açúcar**

ARARAS - 2024



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



PEDRO OLIVEIRA MORAES

Importância, diagnose e métodos de inoculação de *Xanthomonas albilineans*, agente causal da escaldadura-das-folhas em cana-de-açúcar

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

Orientador: Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann.
Coorientador: Dr. Roberto Giacomini Chapola.

ARARAS – 2024

AGRADECIMENTOS

À minha família Samuel, Claudia, Vitor, Santa e Sol por todo o carinho, apoio e incentivo em minhas decisões de minha vida. Ter a confiança de vocês é o que motiva em minha trajetória e determinação.

À minha namorada Gabriele, pelo apoio incondicional. Muito obrigado por todos esses momentos vividos ao seu lado e que o amor e companheirismo se mantenha para os futuros próximos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann e coorientador Dr. Roberto Giacomini Chapola pelas orientações e ensinamentos desde o início do estágio no Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA) até o desenvolvimento desse trabalho.

A todos os engenheiros agrônomos, técnicos agrícolas, assistentes de campo e funcionários do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA – RIDESA – UFSCar), além de me passarem inúmeros ensinamentos durante o período de estágio, contribuem dedicadamente no melhoramento genético da cana-de-açúcar, trazendo inovações e tecnologia para todo o setor sucroenergético nacional e internacional; se mostrando assim, uma referência.

À minha família da República Sók-Bota, local de risadas, desafios e irmandade. Participaram de minha formação pessoal sobre realidade de vida, organização e permaneceram ao meu lado não só nos momentos felizes.

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica no Brasil; porém, a bactéria *Xanthomonas albilineans*, agente causal da escaldadura-das-folhas, pode prejudicar sua produtividade. Reportada em mais de 60 países, a doença pode resultar em perdas de até 100% em cultivares altamente suscetíveis. A migração do cultivo de cana-de-açúcar para regiões com menor viabilidade agrícola e o crescimento da colheita mecanizada no Brasil contribuíram significativamente para que essa patologia seja considerada uma das mais críticas no setor agrícola do país. Os sintomas da doença podem se apresentar de três diferentes formas: na forma latente, não há sintomas visíveis externos, apenas alterações na coloração vascular na região dos nós; na crônica, ocorrem estrias brancas no limbo foliar; e, na forma aguda, as folhas apresentam aspecto escaldado e ocorrem brotações laterais em excesso nos colmos. O controle mais eficaz é o uso de variedades resistentes e, para isso, é importante avaliar a reação das variedades através da inoculação artificial do patógeno e compreender a eficiência dos métodos de diagnose. Neste estudo, o objetivo foi explorar a importância da escaldadura-das-folhas e abordar os métodos de inoculação e diagnose de *X. albilineans* mais utilizados em pesquisas sobre a doença. Os métodos mais comuns de inoculação são a decapitação e a inoculação por corte das lâminas foliares. Quanto aos métodos de diagnose, os sorológicos e o isolamento em meio de cultura são menos confiáveis em comparação com as técnicas moleculares, como a PCR e a qPCR. Especificamente, a qPCR mostrou-se altamente eficaz, oferecendo sensibilidade, especificidade e eficiência superiores, mesmo em concentrações baixas do patógeno. Compreender a importância da doença, a reação das variedades de cana-de-açúcar e utilizar métodos de diagnose eficientes são essenciais para o controle da escaldadura-das-folhas; essas informações contribuem para a proteção da cultura e a garantia de sua produtividade econômica.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; bactéria; fitossanidade; variedades resistentes.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Sintomas internos de alteração de coloração dos vasos de cana-de-açúcar, principalmente na região do nó, causado pela bactéria *X. albilineans*, agente causal da escaldadura-das-folhas 19
- Figura 2:** Sintoma crônico de Escaldadura das folhas em cana-de-açúcar.20
- Figura 3:** Sintoma agudo de Escaldadura das folhas em cana-de-açúcar.....20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
4. REVISÃO DE LITERATURA	13
4.2. Melhoramento genético da cana-de-açúcar no Brasil.	14
4.3. Impacto das doenças no setor sucroenergético brasileiro.....	15
4.4. Escaldadura-das-folhas em cana-de-açúcar.....	18
5. CONCLUSÃO	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) desempenha um papel de grande importância econômica, sendo largamente cultivada para a produção de açúcar, etanol e outros subprodutos derivados, gerando uma ampla cadeia de valor, que abrange desde o cultivo e processamento da cana até a distribuição e comercialização. Dessa forma, a cultura contribui de forma significativa para a geração de empregos diretos e indiretos, e para o desenvolvimento socioeconômico regional (NOCELLI *et al.*, 2017).

No entanto, a escaldadura-das-folhas, doença causada pela bactéria *Xanthomonas albilineans*, representa um desafio para a produção de cana-de-açúcar, sendo responsável por perdas significativas na produtividade (URASHIMA; ZAVAGLIA, 2012). A bactéria foi primeiramente identificada em 1911, na Austrália; atualmente, a doença ocorre em quase todas as regiões do mundo onde a cana-de-açúcar é cultivada (MARTIN; ABBOTT; HUGHES, 1961). A disseminação da escaldadura-das-folhas se dá por mudas infectadas, facões e elementos de corte de colhedoras contaminados e chuvas torrenciais, causando perdas econômicas significativas e levando à reforma precoce dos canaviais.

Os sintomas da escaldadura-das-folhas estão relacionados à resistência da variedade, ao ambiente e à agressividade da bactéria (LOPES *et al.*, 2001). De acordo com Tokeshi e Rago (2005), a manifestação da doença pode ocorrer de três formas distintas: na forma latente, não há sintomas visíveis externos, apenas alterações na coloração vascular na região dos nós; na crônica, ocorrem estrias brancas no limbo foliar; e, na forma aguda, as folhas apresentam aspecto escaldado e ocorrem brotações laterais em excesso nos colmos.

De acordo com Urashima e Zavaglia (2012), em algumas situações, plantas de cana-de-açúcar podem se desenvolver mesmo quando infectadas pela bactéria *X. albilineans*, sem apresentar sintomas visíveis, o que dificulta sua identificação, tornando-se importantes fontes de inóculo. Diante dessa complexidade, diferentes técnicas são utilizadas em todo o mundo para diagnosticar a presença de *X. albilineans* em cana-de-açúcar.

A forma mais eficaz de controle da doença é o uso de variedades resistentes (DABBAS *et al.*, 2006). Para testar a resposta das variedades de cana-de-açúcar à escaldadura-das-folhas, diversos métodos de inoculação podem ser utilizados. Hoffmann (1989) destaca a importância desses métodos, que envolvem a infecção controlada da bactéria *X. albilineans* nas plantas, para avaliar a interação entre a planta e o patógeno, fornecendo informações cruciais para a seleção de variedades resistentes.

Portanto, a compreensão dos métodos utilizados para o desenvolvimento de variedades resistentes, bem como os mecanismos de infecção e a detecção de *X. albilineans*, são de extrema importância para o desenvolvimento de um controle eficiente. Assim, estudos que abordam os fatores que influenciam a doença e a interação entre *X. albilineans* e a cana-de-açúcar contribuem para o avanço no controle da escaudadura-das-folhas, visando mitigar os impactos da doença e garantir proteção e sustentabilidade a essa importante cultura agrícola.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi explorar, através de revisão bibliográfica: a influência e importância da escaldadura-das-folhas sobre a cultura da cana-de-açúcar; discutir sobre os métodos de inoculação utilizados para induzir a infecção por *Xanthomonas albilineans* nas plantas de cana-de-açúcar, visando à avaliação da reação das variedades; e abordar sobre a eficiência dos métodos de diagnose de *X. albilineans*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzida uma revisão bibliográfica que, segundo Brasileiro (2013), é uma análise de publicações científicas em periódicos, livros, anais de congressos, etc. Foram buscadas informações relevantes sobre a escaldadura-das-folhas em cana-de-açúcar, doença causada pela bactéria *Xanthomonas albilineans*. Visando garantir a inclusão dos estudos mais pertinentes sobre o assunto, foram consultados trabalhos publicados em diferentes formas na literatura especializada, como artigos científicos, dissertações, teses, monografias e livros disponíveis em formato digital.

Para realizar a pesquisa, foram utilizadas várias plataformas e bases de dados, incluindo o Google Scholar, ScienceDirect, Web of Science, Scielo, Springer e periódicos CAPES. Além disso, foram consultadas bases de dados governamentais, como a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), Instituto de Economia Agrícola (IEA) e o IAC (Instituto Agrônomo). Materiais mais novos eram os primeiros a serem consultados, depois os mais antigos.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Panorama da cana-de-açúcar no Brasil.

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a safra 2022/23 de cana-de-açúcar registrou uma produção de 610,1 milhões de toneladas, representando um aumento de 5,4% em relação ao período anterior. Além da expressiva produção, a área total de cultivo foi de 8,3 milhões de hectares, com uma produtividade média de 73,61 t/ha (CONAB, 2023). Esses números refletem a magnitude da produção de cana-de-açúcar no país e sua importância para a economia nacional.

O estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, contribuiu com aproximadamente 50% da safra nacional. A área total de cultivo no estado abrange, atualmente, 4,1 milhões de hectares. Na safra 2022/23, o Brasil registrou produções significativas de açúcar e etanol, alcançando as marcas de 37,04 milhões de toneladas e de 27,37 bilhões de litros, respectivamente. Em relação às exportações, o Brasil comercializou cerca de 29,4 milhões de toneladas de açúcar durante a safra, sendo os principais destinos China, Argélia e Marrocos. Quanto ao etanol, a exportação brasileira foi de cerca de 2,84 bilhões de litros, sendo que os principais países de destino foram Holanda, Coreia do Sul e Estados Unidos (CONAB, 2023).

A produção significativa de cana-de-açúcar no Brasil é resultado do melhor desenvolvimento dessa cultura em regiões tropicais, devido à ocorrência de duas estações distintas: uma quente e úmida, que é favorável à brotação, ao perfilhamento e ao desenvolvimento vegetativo da planta; e uma estação fria e seca, que favorece o acúmulo de sacarose nos colmos, promovendo a maturação (SILVA; CAPUTO, 2012). Os aspectos climáticos favorecem não apenas o ciclo natural da cana-de-açúcar, mas também direciona a seleção e predominância de determinadas variedades em regiões específicas, refletindo na adaptabilidade das variedades selecionadas às condições edafoclimáticas locais, e também na busca pela otimização da produtividade (AMARAL *et al.*, 2019).

Segundo o censo varietal realizado em 2021 pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal de São Carlos, a variedade de cana-de-açúcar mais cultivada nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul foi a RB966928, com 16,2% da área, seguida pelas variedades RB867515 e CTC4, ambas com 13,4% de área (CHAPOLA, 2022). As características de cada variedade explicam sua ampla adoção; a RB966928 é adaptada à mecanização, produtiva e rica em açúcar no início de safra; por sua vez, a RB867515 é rústica,

apresentando bom desempenho agroindustrial em solos de baixa fertilidade e em anos ou regiões com déficit hídrico pronunciado (OLIVEIRA; BARBOSA; DAROS, 2021); por fim, a CTC4 apresenta elevado perfilhamento, longo período útil de industrialização e é adaptada à mecanização (CTC, 2021).

4.2. Melhoramento genético da cana-de-açúcar no Brasil.

O melhoramento genético representa um pilar estratégico no desenvolvimento do setor sucroenergético. O país tem evidenciado progressos significativos, desdobrando-se em cultivares de cana-de-açúcar mais produtivas e resistentes a fatores bióticos e abióticos. O melhoramento possui múltiplos objetivos, tais como: aprimorar a produtividade, não só potencializando a quantidade de cana colhida por hectare, mas também otimizando qualidade e o teor de sacarose, o que maximiza a produção de açúcar e etanol por tonelada processada; adicionalmente, em reconhecimento à diversidade geográfica do Brasil, há uma contínua busca por variedades que se adaptem a diferentes condições de clima e de solo; além disso, frente às ameaças de doenças, é prioritário o desenvolvimento de cultivares que sejam resistentes, assegurando safras mais estáveis (MORAIS *et al.*, 2015).

O combate a doenças, alvo de esforços do melhoramento, é crítico, pois elas têm o potencial de reduzir drasticamente a produtividade e a qualidade da cana. O trabalho em melhoramento para resistência a doenças é contínuo e requer monitoramento constante, pesquisa e desenvolvimento, visto que novas cepas ou variantes podem emergir, fazendo com que cultivares até então consideradas resistentes passem a apresentar algum grau de suscetibilidade (MEENA *et al.*, 2022).

No Brasil, o impulso para o desenvolvimento de iniciativas focadas na resistência a doenças em cana-de-açúcar foi fortemente influenciado pela prática frequente de importação de variedades de outras nações, sem a devida aplicação de medidas de quarentena ou controles fitossanitários. Na década de 1920, o Brasil foi surpreendido com severas epidemias provocadas pelo vírus do mosaico da cana-de-açúcar (SCMV). A chegada do vírus provocou instabilidade no setor devido à elevada queda de produtividade em canaviais infectados com o patógeno. Em resposta a essa crítica situação, em 1934, a Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo estabeleceu o Serviço de Defesa da Cana, que posteriormente se tornou a Estação Experimental de Cana de Piracicaba, marcando o início de uma nova era no manejo fitossanitário e no melhoramento genético da cana-de-açúcar no país (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

No início da década de 1930, o mosaico passou a ser controlado com o desenvolvimento de variedades resistentes, que gradativamente substituíram as variedades suscetíveis. Diante disso, percebe-se que, historicamente, a trajetória do melhoramento genético da cana no Brasil tem suas raízes fincadas na década de 1930 e foi muito relacionada à necessidade da manutenção da fitossanidade da cultura em território nacional (GONÇALVES *et al.*, 2012). Instituições como a Campos Brasil (CB), em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, e parcerias como a do Ministério da Agricultura com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) foram fundamentais nesta jornada. Estes esforços iniciais serviram como base sobre a qual todo o desenvolvimento subsequente foi construído. Com o passar dos anos, o país solidificou sua posição de liderança, graças à contribuição de instituições renomadas, que continuam inovando e desenvolvendo variedades adaptadas às demandas contemporâneas (CURSI *et al.*, 2022).

Atualmente, as instituições de melhoramento de cana que estão ativas há mais tempo são: o IAC, o Centro de Tecnologia Canavieira (variedades CTC), e a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético – RIDESA (variedades RB). Segundo Oliveira, Barbosa e Daros (2021), a RIDESA foi estabelecida em 1990, após o encerramento das atividades do IAA (Instituto de Açúcar e Álcool) e PLANALSUCAR (Plano Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar); a partir daí, todo o trabalho para a obtenção das variedades RB passou a ser desenvolvido pelas Universidades Federais, gerando pesquisa e o aprimoramento do melhoramento genético da cana-de-açúcar. A criação da RIDESA, unificando o arcabouço científico, tecnológico e recursos humanos das Universidades envolvidas, contribuiu para o contínuo desenvolvimento do setor canavieiro e das novas variedades RB. A Rede é formada por dez Universidades Federais: UFPI, UFRPE, UFAL, UFS, UFV, UFRRJ, UFSCar, UFPR, UFG e UFMT. Além disso, conta com a parceria de unidades produtoras, associações de produtores e instituições de pesquisa nacionais e internacionais.

4.3. Impacto das doenças no setor sucroenergético brasileiro

A presença de patógenos compromete a produção agrícola, reduzindo não apenas a produtividade, mas também afetando a qualidade do produto final. Os efeitos das doenças vão além das questões agrônomicas, repercutindo amplamente na economia, ao aumentar os custos de produção e interferir na rentabilidade dos produtores e, em casos mais severos, afetar a oferta de açúcar e etanol no mercado, com potenciais efeitos sobre os preços ao consumidor e sobre a segurança energética do país (CEZARINO; LIBONI, 2012).

De acordo com Simon *et al.* (2016), a dinâmica entre patógeno, hospedeiro e ambiente, particularmente os fatores climáticos, são importantes para analisar o comportamento das doenças em questão de prevalência e gravidade. O risco de epidemias varia significativamente de uma região para outra, influenciado pelas condições climáticas locais, tornando essencial a condução de estudos e pesquisas focados nas condições ambientais específicas de cada local para determinar, com precisão, a importância de uma doença e desenvolver métodos de controle que sejam eficazes.

O manejo eficaz das doenças da cana-de-açúcar é complexo, pois envolve um equilíbrio entre práticas agronômicas, uso de defensivos e o desenvolvimento de variedades resistentes. O melhoramento genético surge como uma estratégia vital para enfrentar esse desafio, através da obtenção de variedades que sejam menos suscetíveis aos patógenos (MATSUOKA, 2013).

As doenças que afetam a cana-de-açúcar representam uma preocupação significativa para a agricultura, especialmente considerando o papel central que essa cultura desempenha na economia brasileira. De acordo com Tokeshi e Rago (2005), várias doenças afetam negativamente a cultura da cana-de-açúcar; dentre essas, as mais expressivas no histórico da cultura canavieira no Brasil incluem o carvão, a escaldadura-das-folhas, o raquitismo-das-soqueiras, o mosaico, a estria vermelha, a ferrugem marrom, a ferrugem alaranjada, a podridão vermelha e a podridão abacaxi. Essas doenças, por sua severidade e impacto, têm recebido atenção prioritária dos programas de manejo e melhoramento genético (CANAVIALIS, 2010).

O carvão é uma doença fúngica, causada pelo agente *Sporisorium scitamineum*, que altera o desenvolvimento dos meristemas apicais da cana-de-açúcar, produzindo uma estrutura conhecida como “chicote”, a qual contém os teliósporos do fungo. A doença pode provocar quedas de produtividade de até 62% e a principal via de controle é o cultivo de variedades resistentes (MAGAREY *et al.*, 2010).

O raquitismo-das-soqueiras, doença provocada pela bactéria fastidiosa *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, apresenta potencial de redução de aproximadamente 30% na produtividade dos canaviais (GAGLIARDI; CAMARGO, 2009) e, por não produzir sintomas característicos, é de difícil diagnóstico. O método de controle mais eficiente é o plantio de material propagativo sadio, além da aplicação do tratamento térmico nos rebolos de cana-de-açúcar (TOKESHI; RAGO, 2005; HOY *et al.*, 2003).

As ferrugens marrom e alaranjada são causadas pelos fungos *Puccinia melanocephala* e *P. kuehnii*, respectivamente. Ambos afetam a superfície foliar da cana-de-açúcar e reduzem sua área fotossintética. Os patógenos podem ocasionar quedas de produtividade de até 50% e a

principal via de controle é o emprego de variedades resistentes (MATSUOKA *et al.*, 2005; TOKESHI; RAGO, 2005).

O mosaico da cana-de-açúcar (SCMV) é causado por um vírus, cujo sintoma pode ser reconhecidos pela formação de áreas irregulares de coloração verde clara no limbo foliar. A doença causa redução no tamanho da planta e encurtamento dos entrenós, apresentando potencial de diminuição da produtividade em até 80% (TOKESHI; RAGO, 2005), tendo como principal meio de controle o cultivo de variedades resistentes (GONÇALVES *et al.*, 2012).

A podridão vermelha é provocada pelo fungo *Colletotrichum falcatum*, que provoca podridões e necroses transversais nos colmos da cana-de-açúcar, além de lesões vermelhas nas nervuras centrais do limbo foliar. O ataque do patógeno causa a inversão da sacarose, fator que reduz em até 70% o acúmulo deste açúcar nos colmos. A doença apresenta forte associação com o ataque da broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*), dado que a lagarta perfura os colmos, abrindo portas de entrada para a infecção. Essa associação entre *C. falcatum* e broca-da-cana é conhecida por “complexo broca-podridão” (TOKESHI; RAGO, 2005; SHARMA; TAMTA, 2015). A podridão vermelha pode ser controlada com variedades resistentes ou através do controle da broca.

Por sua vez, a podridão abacaxi é causada pelo fungo *Thielaviopsis ethacetica*, que penetra nos colmos da cana-de-açúcar a partir de ferimentos ou cortes decorrentes da colheita das mudas para o plantio, podendo provocar perdas de até 42% de produtividade (BEGUM *et al.*, 2008). Os sintomas da infecção do patógeno podem ser observados no interior dos colmos usados como mudas, através da coloração acinzentada e enegrecida dos tecidos, decorrente do crescimento da massa de esporos do patógeno. O sintoma típico pode ser reconhecido pela fermentação dos rebolos, que exalam odor semelhante à essência de abacaxi (TOKESHI; RAGO, 2005). A podridão abacaxi pode ser controlada através de estímulos à rápida brotação do material propagativo (TOKESHI; RAGO, 2005).

A estria vermelha tem como agente causal a bactéria gram-negativa *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*, que provoca longas estrias de coloração avermelhada nas folhas e morte do ponteiro da planta, necrosando o tecido apical, podendo se estender para todo o colmo, exalando odor muito desagradável. A doença pode provocar sérios danos à cultura, sobretudo quando é favorecida por solos com grande aporte de nitrogênio. Assim como outros fitopatógenos, o uso de variedades resistentes é o principal método de controle (TOKESHI; RAGO, 2005).

Finalmente, a escaldadura-das-folhas, tema central desta revisão bibliográfica, será abordada mais detalhadamente nos tópicos a seguir.

4.4. Escaldadura-das-folhas em cana-de-açúcar.

4.4.1 Agente causal, sintomas, disseminação e controle.

A escaldadura-das-folhas da cana-de-açúcar é uma doença sistêmica, causada pela bactéria gram-negativa *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson. A doença foi identificada há mais de 100 anos na Austrália e, desde então, se espalhou para mais de 60 países ao redor do mundo (ROTT; DAVIS; BAUDIN, 1994). Acredita-se que sua disseminação tenha ocorrido através de variedades de cana-de-açúcar amplamente difundidas pelo mundo (MATSUOKA, 2013). No Brasil, suspeita-se que o primeiro registro da doença tenha ocorrido entre os anos de 1926 e 1930; porém, o primeiro relato aconteceu em 1994, no estado de São Paulo (ALMEIDA, 1994).

A escaldadura-das-folhas apresenta um alto potencial destrutivo na cana-de-açúcar, especialmente em variedades altamente suscetíveis, podendo acarretar em perdas de até 100%. No entanto, deve-se ressaltar que sua importância muitas vezes tem sido negligenciada devido a erros de identificação dos sintomas e atribuições a outras causas. Portanto, é preciso destacar que a escaldadura é uma bacteriose extremamente relevante, com prejuízos significativos e que deve ser corretamente identificada (SANGUINO, 2012).

No interior da planta, a bactéria produz a albicidina, que tem efeito direto na enzima DNA girase (Topoisomerase II) dos cloroplastos. Esse processo prejudica o envelhecimento dos ácidos nucleicos, resultando em um déficit na geração de energia pela planta. Como consequência desse comprometimento energético, o desenvolvimento da cana-de-açúcar é negativamente afetado, causando prejuízos econômicos expressivos (BUSH; EVANS-ROBERTS; MAXWELL, 2015). Além disso, ressalta-se que a doença é mais severa em regiões quentes e em plantas sujeitas a estresse hídrico; no entanto, se apresenta com maior incidência no começo do período chuvoso (MATSUOKA, 2013).

De acordo com Tokeshi (1980) e Hoffmann (1989), os sintomas podem se manifestar de três formas distintas. A forma latente é caracterizada pela ausência de sintomas externos visíveis nas plantas; no entanto, internamente, pode-se observar uma alteração na coloração vascular na região dos nós (Figura 1), assemelhando-se aos sintomas internos do raquitismo-das-soqueiras. Na forma crônica, tornam-se visíveis estrias brancas paralelas em todo o limbo foliar (Figura2), que podem se estender até a bainha da folha, em um padrão longitudinal característico da doença. A forma aguda, por sua vez, surge de forma abrupta, sem

necessariamente a planta apresentar sintomas crônicos; nesse estágio, ocorre o aparecimento de folhas com aspecto escaldado (Figura 3), assemelhando-se à aparência de folhas expostas à água quente, o que explica a denominação da doença, além do surgimento de brotações laterais em excesso, com folhas prematuramente esbranquiçadas e, em último caso, murchamento dos colmos.



Figura 1: Sintomas internos de alteração de coloração dos vasos de cana-de-açúcar, principalmente na região do nó, causado pela bactéria *Xanthomonas albilineans*, agente causal da escaldadura-das-folhas.

Fonte: Centro de Tecnologia Canavieira.



Figura 2: Sintoma crônico de escaldadura-das-folhas em cana-de-açúcar.

Fonte: Claudia E. González Bogado.



Figura 3: Sintoma agudo de escaldadura-das-folhas em cana-de-açúcar.

Fonte: Álvaro Sanguino.

As principais formas de disseminação da escaldadura-das-folhas são as operações de colheita e o plantio de mudas contaminadas, que podem carregar a bactéria na forma latente da doença. A ausência de sintomas visíveis na fase latente dificulta a detecção e o controle, o que contribui significativamente para a sua disseminação. Durante a colheita, máquinas e instrumentos de corte são contaminados ao entrarem em contato com o caldo de colmos infectados, transportando o patógeno para colmos saudáveis, atuando como veículos para a bactéria. Do mesmo modo, o plantio de mudas que parecem saudáveis, mas que internamente abrigam a bactéria, constitui uma rota silenciosa e capaz de introduzir a doença em novas áreas (DAVIS *et al.*, 1997).

No ano de 2007, o setor sucroenergético do estado de São Paulo assinou o Protocolo Agroambiental, cuja requisição era o fim das queimadas nos canaviais para a redução dos impactos ambientais provocados pela emissão de gases poluentes (LIMA, 2021). Com isso, houve aumento pela demanda de maquinários destinados à colheita da cana-de-açúcar, fazendo com que o percentual de canaviais cuja colheita era realizada de forma mecanizada aumentasse de 33% em 2008, para 93,3% em 2017 (CONAB, 2019); em São Paulo, maior estado produtor, o índice de colheita mecanizada na safra 2022/23 chegou a 99,2% (CONAB, 2023). Uma vez que a doença se instala no canavial, as operações de colheita a disseminam com facilidade; com o aumento da adoção da colheita mecanizada, houve uma grande expansão da disseminação de *X. albilineans* (SAUMTALLY; DOOKUN-SAUMTALLY, 2004).

Ademais, conforme destacado por Mantovani, Marini e Giglioti (2006), a bactéria *X. albilineans* pode ser encontrada em hospedeiros alternativos, porém sua ocorrência está restrita à família Poaceae, que engloba o milho e espécies dos gêneros *Brachiaria*, *Imperata*, *Panicum*, *Pennisetum* e *Rottboellia*. Dentre esses gêneros mencionados, algumas espécies são

consideradas as principais plantas daninhas que afetam negativamente a cultura da cana-de-açúcar, como o capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*), o capim-colonião (*Panicum maximum*), a braquiária (*Brachiaria decumbens*) e o capim-fino (*Brachiaria mutica*) (VICTORIA FILHO; CHRISTOFFOLETI, 2004). Dessa forma, controlar essas espécies de plantas daninhas mencionadas é fundamental para minimizar os danos causados pela doença e garantir o bom desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar (MANTOVANI; MARINI; GIGLIOTI, 2006).

Dentre os métodos de controle utilizados, destacam-se o plantio de mudas sadias, o controle de plantas daninhas, a descontaminação de facões e de elementos de corte de colhedoras, o uso de variedades resistentes ou tolerantes e a eliminação de plantas contaminadas em viveiros de produção de mudas com operações de “*roguing*”.

Além disso, é válido mencionar que o tratamento térmico de rebolos não se mostra totalmente eficiente para o pleno controle da doença (SANTOS, 2003). O tratamento térmico consiste na imersão dos rebolos ou gemas da cana-de-açúcar em água aquecida a 50° C durante duas horas, ou a 52° C durante 30 minutos, com o objetivo de controlar o raquitismo-das-soqueiras. Entretanto, Comstock e Lentini (2002) recomendam que o tratamento térmico para *X. albilineans* seja conduzido como na Austrália, isto é, que seja dividido entre a pré-imersão das mudas em água corrente durante 24 horas, e a imersão em água a 50° C durante três horas.

4.4.2. Técnicas de diagnóstico e detecção de *Xanthomonas albilineans* em cana-de-açúcar.

A diagnose de *Xanthomonas albilineans* em cana-de-açúcar pode ser realizada por meio de diferentes técnicas laboratoriais. Entre as principais ferramentas utilizadas estão o ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay), a imunofluorescência de tecidos, o isolamento em meio sólido seletivo baseado em Wilbrink e a técnica de PCR (Polymerase Chain Reaction). O ELISA é uma técnica imunoenzimática que permite detectar e quantificar antígenos ou anticorpos específicos presentes nas amostras. Já a imunofluorescência de tecidos permite identificar a presença da bactéria através da marcação fluorescente dos tecidos infectados. O isolamento em meio sólido seletivo baseado em Wilbrink é uma técnica utilizada para isolar e cultivar especificamente a bactéria *X. albilineans* presente nas amostras. Por fim, a técnica de PCR é uma poderosa ferramenta molecular que amplifica, de forma específica e rápida, sequências de DNA alvo, permitindo a detecção da bactéria *X. albilineans* através da amplificação de regiões específicas do seu genoma (SILVA, 2006).

Jiménez e Contreras (2008) detectaram *X. albilineans* ao analisarem amostras sintomáticas e assintomáticas de cana-de-açúcar utilizando a técnica ELISA indireta e dois meios seletivos (XAS e Wilbrink modificado). Os resultados revelaram que a técnica ELISA permitiu uma taxa de detecção de 98,22%, enquanto o uso dos meios XAS e Wilbrink modificado possibilitou frequências de detecção de 97,33% e 61,78%, respectivamente. Nas amostras assintomáticas, a detecção foi de 18,75% com a técnica ELISA e 15,18% e 8,93% com os meios XAS e Wilbrink modificado, respectivamente. O estudo concluiu que tanto a técnica ELISA quanto o meio seletivo XAS poderiam ser utilizados como métodos diagnósticos para a detecção da bactéria em amostras sintomáticas e assintomáticas de cana-de-açúcar.

Urashima e Zavaglia (2012) avaliaram a eficácia de duas diferentes técnicas de diagnóstico de *X. albilineans* em cana-de-açúcar. Foram empregados métodos microbiológicos convencionais, como o isolamento da bactéria em meios de cultura Wilbrink ou XAS sem inibidores, e o método molecular, que envolveu a extração de DNA e a amplificação por PCR utilizando os "primers" PGBL1 e PGBL2. Os resultados demonstraram que o método molecular foi superior, detectando a bactéria em 100% dos casos, independentemente do tipo de sintoma apresentado pela planta.

Mensi *et al.* (2014) avançaram nas pesquisas ao utilizar técnicas de microscopia confocal de varredura a laser, imunocitoquímica e microscopia eletrônica de transmissão para examinar a distribuição do patógeno nas folhas e colmos da cana-de-açúcar. Adicionalmente, marcaram o patógeno *in vivo*, usando microscopia de fluorescência, com um plasmídeo que carregava um cassete de clonagem de proteína fluorescente verde (GFP). Suas descobertas demonstraram que *X. albilineans*, apesar de seu genoma reduzido, tem a capacidade de invadir tecidos não vasculares da cana-de-açúcar, encontrando-se no floema, no parênquima e nas células buliformes das folhas infectadas, além de células de armazenamento do colmo e espaços intercelulares. Esta foi a primeira vez que uma bactéria vascular fitopatogênica foi descrita invadindo tecidos vegetais não vasculares.

Já o estudo conduzido por Shi (2021) propôs o desenvolvimento de um ensaio de PCR quantitativo (qPCR), sensível e confiável, para a detecção e quantificação de *X. albilineans* em cana-de-açúcar. O ensaio visou um gene transportador do cassete de ligação ao trifosfato de adenosina (ABC) e utilizou sonda e "primers" TaqMan. O ensaio qPCR desenvolvido apresentou alta especificidade para cepas de *X. albilineans*, detectando o patógeno em 75,1% das amostras assintomáticas. Em contraste, a PCR convencional teve resultado positivo em apenas 28,4% das amostras. Portanto, o método qPCR mostrou-se muito mais sensível, superando o ensaio de PCR convencional.

O estudo conduzido por Cervantes-Romero *et al.* (2021) investigou a distribuição da escaaldadura-das-folhas no México e enfatizou a importância da seleção de variedades resistentes à doença em programas de melhoramento. Para identificar o agente causal da doença, os pesquisadores isolaram amostras de plantas sintomáticas de cana-de-açúcar de diferentes regiões mexicanas. Eles utilizaram uma abordagem filogenética, combinando quatro genes (16S rRNA, fusA, LeUs e rPia) amplificados por PCR com “primers” específicos. O resultado foi a confirmação da identificação do patógeno em todos os estados investigados, usando essas quatro sequências de genes distintos.

Umer *et al.* (2021) apresentaram um novo método para detectar o DNA de *X.albilineans* na seiva do xilema da cana-de-açúcar. Esse método utiliza a extração de DNA por lise, através de ebulição da seiva da planta e, em seguida, purificação magnética das sequências-alvo usando sondas de captura ligadas a esferas magnéticas. A detecção do DNA é realizada através de uma plataforma de hibridização em sanduíche de DNA, que permite visualização a olho nu usando a reação HRP/TMB/H₂O₂, permitindo também a detecção eletroquímica do alvo. O método foi testado em diferentes cultivares de cana-de-açúcar, com classificações de resistência conhecidas à doença. Os resultados mostraram que os níveis de detecção se correlacionaram com a classificação de resistência dos cultivares testados. Além disso, os resultados da qPCR também apresentaram forte correlação com o ensaio e a classificação de resistência dos cultivares.

Os estudos evidenciaram que os métodos sorológicos e o isolamento da bactéria em meio de cultura têm sido empregados na detecção e identificação de *X. albilineans* em cana-de-açúcar. No entanto, essas técnicas têm revelado menor confiabilidade quando comparadas aos métodos moleculares, como PCR e qPCR. Os métodos sorológicos têm sido amplamente utilizados, pois apresentam a vantagem de detectar quantitativamente a presença de bactérias nos colmos, além de serem relativamente simples e econômicos. Contudo, a detecção por sorologia depende da presença de antígenos ou anticorpos específicos, limitando sua eficácia em amostras com baixas concentrações do patógeno (DIAS, 2016). Já o isolamento em meio de cultura seletivo necessita de condições adequadas e pode ser demorado para fornecer resultados, sendo ainda dificultado por cepas de *X. albilineans* de baixo crescimento ou de difícil cultivo, prejudicando a identificação precisa e a quantificação do patógeno.

Os métodos moleculares, como PCR e qPCR, têm se revelado excelentes ferramentas para a detecção e monitoramento de *X. albilineans*. Essas técnicas permitem a amplificação de regiões específicas do DNA do patógeno, possibilitando sua identificação de maneira rápida e precisa. No entanto, em termos de sensibilidade, especificidade e eficiência, a qPCR tem se

mostrado superior à PCR convencional. A qPCR fornece resultados mais confiáveis, mesmo em baixas concentrações de *X. albilineans* (JIMÉNEZ; CONTRERAS, 2008; URASHIMA; ZAVAGLIA, 2012; SHI, 2021).

Recentes avanços têm explorado novas abordagens, como a detecção eletroquímica, que se mostra como uma valiosa ferramenta para a pesquisa e controle da doença. Essas abordagens possibilitam uma triagem rápida e sensível do DNA do patógeno em plantas de cana-de-açúcar infectadas, auxiliando na classificação das variedades testadas em programas de melhoramento em relação à doença (UMER *et al.*, 2021). Tais inovações têm o potencial de contribuir significativamente para o manejo eficaz e o controle da escaldadura-das-folhas na cultura da cana-de-açúcar.

4.4.3. Métodos de inoculação de *Xanthomonas albilineans* em cana-de-açúcar.

De acordo com Resende, Massola Júnior e Bedendo (2018), a inoculação é um processo que consiste em colocar o patógeno em contato com o hospedeiro em condições propícias para a infecção e o desenvolvimento da doença. Esses métodos ajudam os pesquisadores a compreenderem a patogenicidade de *X. albilineans* e sua interação com a cana-de-açúcar, fornecendo informações para possíveis estratégias de controle e sobre a reação de variedades em fase de desenvolvimento. Os métodos utilizados variam de acordo com as especificidades dos patógenos em relação à infecção.

Para a bactéria *X. albilineans* em cana-de-açúcar, os métodos de inoculação se assemelham às técnicas utilizadas com vírus, ou seja, basicamente todos os métodos promovem um ferimento que criam uma porta de entrada para a bactéria, permitindo o estabelecimento da infecção nas plantas. No entanto, a maneira como esse ferimento é provocado pode variar entre os diferentes métodos (HOFFMANN, 1989).

No estudo realizado por Rott *et al.* (1995), foi investigado o impacto do progresso e da incidência da escaldadura-das-folhas na produtividade de sete cultivares de cana-de-açúcar, com diferentes níveis de reação à doença. A bactéria *X. albilineans* foi inoculada em plantas com cinco meses de idade, por meio da técnica de decapitação, na qual os colmos foram cortados próximo ao meristema apical, com tesouras de poda previamente mergulhadas em uma suspensão bacteriana. Após o corte, a mesma suspensão foi aplicada sobre a área cortada, utilizando-se um pulverizador manual. As plantas de controle foram tratadas da mesma maneira, mas com água destilada. Os resultados demonstraram que a técnica de decapitação foi eficaz para a inoculação. Observou-se que a incidência e a severidade da doença variaram

significativamente entre as cultivares testadas.

Gutierrez, Garces e Hoy (2016) conduziram um estudo para testar o potencial da reação em cadeia polimerase quantitativa (qPCR) como um método confiável de triagem de resistência à escaldadura da cana-de-açúcar. Os experimentos de campo foram realizados nos verões de 2011 e 2012, nos quais os pesquisadores inocularam 31 clones de cana-de-açúcar, no início do alongamento dos colmos, pelo método de decapitação. Os resultados do estudo demonstraram que a qPCR foi mais eficaz para avaliar a resistência à escaldadura em comparação à avaliação visual dos sintomas.

No estudo realizado por Lin *et al.* (2018), o objetivo principal foi detectar a presença da bactéria *X. albilineans* na China utilizando técnicas moleculares. Foram coletadas 357 amostras de folhas de cana-de-açúcar, em quatro províncias chinesas. Dessas amostras, 141 foram coletadas de plantas com sintomas atribuídos à escaldadura, enquanto 216 foram obtidas de plantas assintomáticas. Um protocolo de PCR foi empregado para detectar a presença da bactéria *X. albilineans* nas amostras de folhas coletadas. Os resultados indicaram que a bactéria foi detectada em 73% das amostras de folhas com sintomas e em 17% das amostras de folhas assintomáticas. Para cumprir os postulados de Koch, que são critérios essenciais para estabelecer uma relação causal entre um patógeno e uma doença, a bactéria *X. albilineans* foi inoculada em plantas saudáveis de cana-de-açúcar, obtidas a partir de cultura *in vitro*, com 3 a 5 folhas e altura de aproximada de 15 a 20 cm. O processo de inoculação consistiu em cortar as lâminas foliares no meio do comprimento utilizando uma tesoura previamente embebida em uma suspensão bacteriana de *X. albilineans*. Os postulados de Koch foram efetivamente cumpridos, reforçando a eficácia do método de inoculação adotado no estudo.

Ntambo *et al.* (2019) realizaram uma análise comparativa do transcriptoma entre cultivares de cana-de-açúcar resistentes e suscetíveis após serem infectadas por *X. albilineans*. O objetivo desse estudo foi investigar os mecanismos de resistência à escaldadura através do sequenciamento de RNA (RNA-seq). Para realizar a inoculação, as plantas estavam no estágio de 3 a 5 folhas, com aproximadamente 15 a 20 cm de altura. O processo de inoculação consistiu em cortar as lâminas foliares no meio do comprimento, utilizando tesouras esterilizadas e previamente mergulhadas em uma suspensão bacteriana contendo *X. albilineans*. Os autores observaram o surgimento dos primeiros sintomas da doença através de estrias esbranquiçadas no limbo foliar após 72 horas de inoculação, indicando que o método foi bem-sucedido.

Cervantes-Romero *et al.* (2021) estudaram a distribuição, filogenia e patogenicidade de *X. albilineans* no México. Para o ensaio de patogenicidade, doze isolados diferentes da bactéria

foram inoculados em variedade suscetível de cana-de-açúcar (MEX69-290), com seis meses de idade, obtidas de cultura de tecidos. A inoculação foi realizada por meio da injeção de uma suspensão bacteriana na base do colmo das plantas. Esse método de inoculação permitiu que as bactérias entrassem no sistema vascular da planta e se espalhassem, causando a infecção. Após a inoculação, as plantas foram cuidadosamente observadas e exibiram sintomas típicos da escaldadura, incluindo a formação de linhas brancas nas folhas.

No estudo conduzido por Zhao *et al.* (2022), foram examinadas 40 cepas de *X. albilineans* originárias da China. Essas cepas foram classificadas em três grupos distintos de patogenicidade (baixa, média e alta), com base em análises de qPCR. Plantas de variedades suscetíveis, com 1-2 folhas totalmente expandidas (8-10 cm de altura), foram inoculadas pelo método de decapitação. Esse processo consistiu em cortar o colmo a uma distância de 3 a 4 cm abaixo da primeira folha expandida, utilizando-se uma tesoura previamente mergulhada em suspensão bacteriana. Os resultados indicaram que o método de inoculação foi eficaz, uma vez que permitiu uma avaliação detalhada da variação na patogenicidade entre diferentes estirpes do patógeno. As plantas inoculadas apresentaram sintomas típicos da escaldadura-das-folhas, confirmando que a inoculação foi bem-sucedida.

No estudo conduzido por Bini *et al.* (2023), o objetivo foi avaliar as respostas de defesa da cana-de-açúcar contra *X. albilineans*. Para isso, foram usadas abordagens moleculares e bioquímicas para avaliar espécies reativas de oxigênio desencadeadas pelo patógeno, fitohormônios e metabólômica em duas variedades diferentes de cana-de-açúcar, contrastantes em relação à suscetibilidade à escaldadura. Para alcançar esse propósito, plantas saudáveis de três meses de idade, produzidas *in vitro*, das variedades SP78-4467, que é suscetível, e SP80-3280, que é resistente à doença, foram cultivadas em vasos de 500 ml contendo substrato. Seguiu-se o método de decapitação a 30 cm do solo, empregando tesouras esterilizadas e previamente embebidas em uma suspensão bacteriana. As conclusões principais do estudo destacaram a eficácia do método de inoculação. A quantificação do patógeno em genótipos de cana-de-açúcar, suscetíveis e resistentes, em diferentes pontos no tempo após a inoculação, mostrou que o patógeno foi detectado imediatamente após a inoculação e permaneceu nas plantas ao longo do período estudado. Além disso, foi observada uma diferença significativa na dinâmica de infecção entre os genótipos resistente e suscetível.

Foi possível observar que os métodos de inoculação mais comumente empregados nas pesquisas com a escaldadura-das-folhas em cana-de-açúcar são a decapitação e a inoculação por corte das lâminas foliares. Na técnica de decapitação, brotos jovens são cortados acima do meristema apical e a inoculação ocorre através do uso de uma tesoura embebida na suspensão

de inóculo. As vantagens do método consistem no fato de ser simples e rápido, dado que, em menos de duas semanas, os sintomas podem surgir nas folhas jovens. Além disso, o método pode ser empregado em todos os estágios de crescimento da cana-de-açúcar, sendo este o método mais usado (KOIKE, 1965). Ademais, ele se assemelha com a realidade da colheita no campo, fator importante para avaliar a severidade do ataque do patógeno.

Outro método bastante utilizado é aquele em que as lâminas foliares são cortadas no meio do comprimento, com tesouras esterilizadas e previamente mergulhadas em suspensão bacteriana. Assim como para o método da decapitação, os sintomas da infecção podem ser rapidamente visualizados; contudo, é mais trabalhoso em ensaios de campo (LIN *et al.*, 2018).

Além disso, foi encontrado em Cervantes-Romero *et al.* (2021) um método de inoculação que consistiu na injeção de uma suspensão bacteriana na base do colmo; apesar de ser menos comum, também pode ser uma abordagem válida para estudar a patogenicidade e a progressão da infecção em diferentes partes da planta.

Essa variação de métodos de inoculação permite que os pesquisadores abordem questões específicas relacionadas à infecção por *X. albilineans* e forneçam uma compreensão abrangente dos mecanismos envolvidos na resposta da planta à bactéria.

5. CONCLUSÃO

Por não apresentar sintomas visíveis em uma de suas fases e devido à consolidação da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, espera-se que a escaldadura-das-folhas se torne um dos fatores mais limitantes à produtividade da cultura, caso não sejam adotadas medidas para sua correta diagnose e controle. A determinação da reação das variedades de cana-de-açúcar à doença através de métodos adequados de inoculação e a utilização de meios de diagnose eficientes são essenciais para o controle da escaldadura; estas informações são fundamentais para a proteção da cultura e para a garantia de sua produtividade econômica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. **Bacterial diseases of sugarcane in Brazil.** In: Rao G.; Gillaspie, J.; Upadhyaya, P.; Bergamin, A.; Agnihotri, V.; Chen, C. (Eds) Current trends in sugarcane pathology. International Books y Periodicals Supply Service, India. pp 73-77, 1994.

AMARAL, M. A. C. M. *et al.* Temperatura base e taxa de crescimento de oitovariedades de cana-de-açúcar. **Revista Geama**, v. 5, n. 1, p. 21-29, 2019.

BEGUM, F. *et al.* Effect of pineapple disease on germination and yield contributing parameters of some promising varieties of sugarcane. **Sugar Technology**, v. 10, p.171-173, 2008.

BINI, A. P. *et al.* Molecular, biochemical and metabolomics analyses reveal constitutive and pathogen-induced defense responses of two sugarcane contrasting genotypes against leaf scald disease. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 203, p. 108033, 2023.

BRASILEIRO, A. M. M. **Manual de produção de textos acadêmicos e científicos.** São Paulo: Atlas. 47 páginas. 2013

BUSH, N. G.; EVANS-ROBERTS, K.; MAXWELL, A. Topoisomerases de DNA. **EcoSal Plus**, v. 6, n. 2, 2015.

CANAVIALIS. **Doenças: o perigo está à espreita**, 2010

CERVANTES-ROMERO, B. *et al.* Distribution, phylogeny, and pathogenicity of *Xanthomonas albilineans* causing sugarcane leaf scald in Mexico. **Crop Protection**, v.150, p. 105799, 2021.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. Melhoramento da cana-de-açúcar: marco sucro-alcooleiro no Brasil. Brasília: **Embrapa Informações Tecnológicas**, 2004.

CEZARINO, L. O.; LIBONI, L. Social and environmental impacts of the sugarcane industry. Future Studies **Research Journal: Trends and Strategies**, v. 4, n. 1, p. 202-230, 2012.

CHAPOLA, R. G. Variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul em 2021. **Revista canavieiros**, v. 15, n. 188, p. 80-82, 2022.

COMSTOCK, J. C.; LENTINI, R. S. **Sugarcane leaf scald disease**. 2002.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 5, n. 4, 2019.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 10, n. 4, abr. 2023.

CTC. CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Bulas Técnicas**. 2021.

CURSI, D. E. *et al.* History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. **Sugar Tech**, v. 24, n. 1, p. 112-133, 2022.

DABBAS, K. M. *et al.* Genes diferencialmente expressos em cana-de-açúcar inoculada com *Xanthomonas albilineans*, o agente causal da escaaldadura da folha. **Summa Phytopathologica**, v. 32, p. 328-338, 2006.

DAVIS, M. J. *et al.* Intraspecific genomic variation within *Xanthomonas albilineans*, the sugarcane leaf scald pathogen. **Phytopathology**, v. 87, n. 3, p. 316-324, 1997.

DIAS, V. D. **Detecção com técnicas moleculares de Leifsonia xyli subsp. xyli e Xanthomonas albilineans em cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado em Agronomia. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás. 2016.

GAGLIARDI, P. R.; CAMARGO, L. E. A. Resistência de variedades comerciais de cana-de-açúcar ao agente causal do raquitismo-da-soqueira. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p.1211-1214, 2009.

GONZÁLEZ BOGADO, Claudia Elizabeth. **Efeito da escaaldadura-das-folhas em um campo comercial de cana-de-açúcar no Brasil e reação de variedades**. 2023

GONÇALVES, M. *et al.* Virus diseases of sugarcane: A constant challenge to sugarcane

breeding in Brazil. **Functional Plant Science & Biotechnology**, v. 6, n. 2, p. 108-1016, 2012.

GUTIERREZ, A.; GARCES, F. F.; HOY, J. W. Evaluation of resistance to leaf scald by quantitative PCR of *Xanthomonas albilineans* in sugarcane. **Plant disease**, v. 100, n. 7, p. 1331-1338, 2016.

HOFFMANN, H. P. **Inoculação em plântulas de cana-de-açúcar com *Xanthomonas albilineans* visando seleção para resistência**. Dissertação de Mestrado em Fitopatologia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

HOY, J. W. *et al.* Effect of tissue culture explant source on sugarcane yield components. **Euphytica**, v. 129, p. 237-240, 2003.

JIMÉNEZ, O.; CONTRERAS, N. Detección de *Xanthomonas albilineans* agente causal de la escaldadura foliar de la caña de azúcar usando la técnica de Elisa y medios selectivos. **Bioagro**, v. 20, n. 3, p. 209-213, 2008.

KOIKE, H. The aluminium-cap method for testing sugarcane varieties against leaf scald disease. **Phytopathology**, v. 55, n. 3, p. 317-319, 1965.

LIMA, J. R. T. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar: o que nos revelam os especialistas do setor sobre as motivações e impeditivos da sua adoção na realidade canavieira de Alagoas?. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 29, n. 1, p. 219-246, 2021.

LIN, L. *et al.* Molecular detection and prevalence of *Xanthomonas albilineans*, the causal agent of sugarcane leaf scald, in China. **Crop Protection**, v. 109, p. 17-23, 2018.

LOPES, S.A.; DAMANN, K.E.; HOY, J.W. Infectivity titration for assessing resistance to leaf scald among sugarcane cultivars. **Plant Disease**, St. Paul, v. 85, n. 6, p. 592-596, 2001.

MAGAREY, R. C. *et al.* Yield losses caused by sugarcane smut in several crops in Queensland. **Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol**, v. 32, p. 347-354, 2010.

MANTOVANI, E. S.; MARINI, D. C.; GIGLIOTTI, É. A. Gramíneas hospedeiras de

Xanthomonas sp., agente causal da falsa estria vermelha da cana-de-açúcar. **Summa Phytopathologica**, v. 32, p. 124-130, 2006.

MARTIN, J. P., ABBOTT, E. V., & HUGHES, C. G. (1961). **Sugar-cane diseases of the world**. Vol. 1. *Sugar-cane diseases of the world. Vol. 1*.

MATSUOKA, S. Identificação de doenças da cana-de-açúcar e medidas de controle. In: SANTOS, F.; BORÉM, A. Cana-de-açúcar: do plantio à colheita. **Editora UFV**, p. 89- 115, 2013.

MATSUOKA, S. A. *et al.* Melhoramento da cana-de-açúcar. In: Melhoramento de espécies cultivadas: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. **Editora UFV**, p. 969, 2005.

MEENA, M. R. *et al.* Recent advances in sugarcane genomics, physiology, and phenomics for superior agronomic traits. **Frontiers in Genetics**, v. 13, p. 854936, 2022.

MENSI, I. *et al.* Breaking dogmas: the plant vascular pathogen *Xanthomonas albilineans* is able to invade non-vascular tissues despite its reduced genome. **Openbiology**, v. 4, n. 2, p. 130116, 2014.

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

NACHILUK, K. Alta na produção e exportações de açúcar marcam a safra 2020/21 decana. **Instituto de Economia Agrícola (IEA): Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021.

NOCELLI, R. C. F. *et al.* Histórico da cana-de-açúcar no Brasil: contribuições e importância econômica. In: FONTANETTI C. S.; BUENO, O. C. Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica. Bauru, SP: **Canal 6**, p. 275, 2017.

NTAMBO, M. S. *et al.* Comparative transcriptome profiling of resistant and susceptible sugarcane cultivars in response to infection by *Xanthomonas albilineans*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 24, p. 6138, 2019.

OLIVEIRA, R. A.; BARBOSA, G. V. S.; DAROS, E. 50 anos de Variedades RB de Cana-de-Açúcar: 30 anos de RIDESA. UFPR, **RIDESA**, p. 30-52, 2021.

RESENDE, J.A.M; MASSOLA JÚNIOR, N. S.; BEDENDO, I. P. Conceito de doença, sintomatologia e diagnose. *In*: AMORIM, L., RESENDE, J.A.M., BERGAMIN FILHO, A. (Eds.) Manual de fitopatologia vol. 1: Princípios e conceitos. 5° ed. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 2018.

ROTT, P.; DAVIS, M. J.; BAUDIN, P. Serological variability in *Xanthomonas albilineans*, causal agent of leaf scald disease of sugarcane. **Plant Pathology**, v. 43, n.2, p. 344-349, 1994.

ROTT, P. *et al.* Leaf scald (*Xanthomonas albilineans*) incidence and its effect on yield in seven sugarcane cultivars in Guadeloupe. **Plant Pathology**, v. 44, n. 6, p. 1075-1084, 1995.

SANGUINO, A. As principais doenças da cana-de-açúcar. **Curso à distância tópicos da cultura de cana-de-açúcar IAC**. 2012.

SANTOS, A. S. Doenças causadas por fungos e bactérias em cana-de-açúcar. *In*: Anais da IX Reunião de Fitossanidade do Instituto Biológico – Cana-de-açúcar. Catanduva, SP: **Instituto Biológico**, p. 11-17, 2003.

SAUMTALLY, A. S.; DOOKUN-SAUTALLY, A. Leaf scald of sugarcane: a disease of worldwide importance. *In*: RAO, G. P.; SAUMTALLY, A. S.; ROTT, P. Sugarcane pathology: bacterial and nematode diseases. **New Hampshire: Science Publishers**, v. 3, p.65-72, 2004.

SHARMA, R.; TAMTA, S. A review on red rot: the “cancer” of sugarcane. **Journal of Plant Pathology & Microbiology**, v. S1, n. 3, 2015.

SHI, Y. *et al.* Molecular detection and quantification of *Xanthomonas albilineans* in juice from symptomless sugarcane stalks using a real-time quantitative PCR assay. **Plant Disease**, v. 105, n. 11, p. 3451-3458, 2021.

SILVA, M. A.; CAPUTO M. M. Ripening and the use of ripeners for better sugarcane

management. *In*: MARIN, F.R. **Crop management: Cases and tools for higher yield and sustainability**. p. 2-24, fev. 2012.

SILVA, M. S. **Caracterização sorológica, molecular e patogênica de isolados de *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson agente causal da escaldadura da cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2006.

SIMON, E. D. T. *et al.* Doenças da Cana-de-açúcar. *In*: SILVA, S. D. A.; MONTERO, C. R. S.; SANTOS, R. C.; NAVA, D. E.; GOMES, C. B.; ALMEIDA, I. R. Sistema de produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2016.

TOKESHI, H. Doenças da cana-de-açúcar. *In*: GALLI, F., coord. Manual de fitopatologia. São Paulo, **Ceres**, v.2, cap.12, p.141-206. 1980.

TOKESHI, H.; RAGO, A. Doenças da cana-de-açúcar. *In*: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE JAM.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO LEA. Manual de fitopatologia. 4. ed. São Paulo, **Agronômica Ceres**, v. 2, p. 185-196. 2005.

UMER, M. *et al.* Naked eye evaluation and quantitative detection of the sugarcane leafscald pathogen, *Xanthomonas albilineans*, in sugarcane xylem sap. **Crop and Pasture Science**, v. 72, n. 5, p. 361-371, 2021.

URASHIMA, A. S.; ZAVAGLIA, A. C. Comparação de dois métodos diagnósticos de escaldadura-das-folhas (*Xanthomonas albilineans*) da cana-de-açúcar. **Summa Phytopathologica**, v. 38, p. 155-158, 2012.

VICTORIA FILHO, R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Manejo de plantas daninhas e produtividade da cana. **Visão Agrícola**, v. 1, n. 1, p. 32-37, 2004.

ZHAO, J. *et al.* Sugarcane responses to two strains of *Xanthomonas albilineans* differing in pathogenicity through a differential modulation of salicylic acid and reactive oxygen species. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1087525, 2022.