

PERFORMANCE DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR, TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL, EM AMBIENTE IRRIGADO SOB PIVÔ CENTRAL

PERFORMANCE OF TRANSGENIC AND CONVENTIONAL SUGARCANE CULTIVARS IN IRRIGATED ENVIRONMENT UNDER CENTER PIVOT

AÉCIO FERREIRA DOS SANTOS

Instituto Federal Goiano - Campus Ceres / GO
aecio_agro2010@hotmail.com

ANTONIO EVAMI CAVALCANTE SOUSA

Instituto Federal Goiano, Campus Ceres / GO
antonio.sousa@ifgoiano.edu.br

LUIZ SÉRGIO COSTA DUARTE FILHO

Instituto Federal Goiano, Campus Ceres / GO
luizsergiocdfilho@hotmail.com

FREDERICO ANTÔNIO LOUREIRO SOARES

Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde / GO
frederico.soares@ifgoiano.edu.br

Resumo: O objetivo deste trabalho no Noroeste Mineiro foi estudar, avaliar e comparar a performance de cultivares de cana transgênica e convencional em ambiente irrigado. O experimento foi conduzido no Vale do Paracatu, município de João Pinheiro/MG. O plantio com mudas pré-brotadas (MPB) de cana foi feito em julho/2021. Durante o ciclo da cana-planta foi feita irrigação com pivô central, adotando manejo de lâminas através da plataforma “Irriger connect”. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados (DBC). No mesmo ensaio, foram conduzidos dois experimentos: ensaio A, seis genéticas de cana-de-açúcar, e ensaio B, em esquema fatorial, 3 x 2, três variedades de cana transgênica com e sem estímulo foliar à base de aminoácidos e nutrientes. Foram avaliados o índice de infestação final (IIF) da broca-da-cana, tonelada de cana por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR) e tonelada de açúcar por hectare (TAH). Os resultados foram submetidos à análise de variância, teste F. Para os dados significativos, foi utilizado o teste de comparação de médias. Também foi aplicada a estatística descritiva. As cultivares transgênicas apresentaram 0% de IIF, enquanto as convencionais, em ordem crescente, 1,6%, 1,8% e 4,5%, respectivamente, CTC20, CTC9001 e CTC9003. Os resultados mostraram que ocorreu redução na qualidade tecnológica da cana com o aumento do IIF. As variedades transgênicas, Bt, mostraram alta eficácia no controle da broca-da-cana, o que se refletiu em variação positiva para variável TAH para o conjunto dessas variedades. O estímulo foliar não influenciou na produtividade agroindustrial dos organismos geneticamente modificados.

Palavras-chave: *Diatraea saccharalis*. Estímulo foliar. Irrigação. Transgenia.

Abstract: This paper aimed to analyze, evaluate, and compare the performance of transgenic and conventional sugarcane cultivars in the irrigated environment in the northwest of Minas Gerais (MG), Brazil. The experiment was undertaken in the Paracatu Valley, in João Pinheiro municipality, MG. The sugarcane pre-sprouted seedlings

(PSS) were planted in July 2021. Irrigation was done with a central pivot during the sugarcane-plant cycle, using blade management by the "Irriger connect" platform. The experimental design was in randomized blocks (DRB). Two experiments were carried out in the same test, being test A, with six sugarcane genetics, and test B, in 3 x 2 factorial scheme with three varieties of transgenic cane with and without foliar stimulus based on amino acids and nutrients. The final infestation index (FII) of sugarcane borer, ton of sugarcane per hectare (TSH), total recoverable sugar (TRS), and ton of sugar per hectare (TSH) were evaluated. The results were submitted to analysis of variance, test F. The mean comparison test was used for the relevant data. The descriptive statistics was also applied. The transgenic cultivars presented 0% of FII, while the conventional ones were 1.6%, 1.8%, and 4.5% in ascending order, respectively, CTC20, CTC9001, and CTC9003. Results showed that there was a reduction in the sugarcane technological quality with the increase in the FII. The Bt transgenic varieties showed great efficiency in controlling the sugarcane borer, which reflected in a positive change in the TSH variable for all these varieties. The foliar stimulus did not cause any influence on the agroindustrial yield of the genetically modified organisms.

Keywords: *Diatraea saccharalis*. Foliar stimulus. Irrigation. Transgenia.

Introdução

Na safra 21/22, a média nacional de tonelada de cana por hectare (TCH) foi de 69,2 e no Estado de Minas Gerais, de 75,7 (CONAB, 2022), considerado baixo do ponto de vista do potencial biológico produtivo da cultura, que é acima de 300 TCH (XAVIER *et al.*, 2020).

A existência de fatores abióticos e bióticos interagindo no ambiente tem funcionado como fonte de restrição da produtividade. Nos últimos anos, grande esforço tem sido empregado para atenuar o efeito negativo do ambiente. O uso de tecnologias como irrigação, variedades modernas e estímulo foliar são exemplos empregados para tal finalidade.

A irrigação da cana-de-açúcar, prática com demanda crescente no Centro-Sul brasileiro, estima que, a médio prazo, 45% do crescimento com irrigação será na região central do Brasil (ANA, 2021). Para tanto, o entendimento da necessidade de água bruta para a cultura, bem como a irrigação necessária são parâmetros importantes na busca da eficiência da irrigação (ASCOLI, A. *et al.*, 2017).

Simões *et al.* (2020), no semiárido brasileiro, trabalhando com irrigação e três variedades de cana-de-açúcar, relatam que, entre as genéticas estudadas, a denominada de VAT90212 apresentou maior eficiência no uso da água. Da mesma forma, Coelho *et al.* (2018) afirmam que o genótipo IAC 95-5000 apresenta alto potencial produtivo e grande eficiência no uso da água em condições irrigadas, indicando ser altamente responsivo ao sistema de produção.

De acordo com Silva, M. de A. *et al.* (2014), há cultivares que apresentam maior potencial produtivo em condições irrigadas, já outras são adaptadas a ambientes com restrição

hídrica. Portanto, torna-se indispensável a identificação desses materiais genéticos para assertividade no posicionamento aos ambientes irrigados.

A irrigação eficiente, aliada a uma variedade responsiva, resulta em altas performances. Por outro lado, o microclima do ambiente favorece o surgimento de pragas (TERAN-PEREDO, 1982; PANNUTI *et al.*, 2013), o que tem contribuído de forma a prejudicar o rendimento agrícola. Neste cenário, a broca *Diatraea saccharalis* se destaca como a principal praga da cana-de-açúcar, anualmente causando prejuízos ao setor canavieiro da ordem de 5 bilhões de reais (CTC, 2021). Apesar das várias ferramentas existentes e empregadas em maiores proporções, como o controle biológico e químico, a eficácia está aquém do esperado em razão da alta complexidade do monitoramento e do controle desta praga.

Cada fêmea da broca, após o acasalamento, põe de 200 a 400 ovos em ambos os lados das folhas da cana-de-açúcar. As larvas neonatas alimentam-se do parênquima das folhas, migrando para a região da bainha em busca de abrigo e, após uma ecdise, as larvas da broca perfuram a casca do colmo e passam a se alimentar dos colmos da cana-de-açúcar, provocando, desta forma, danos à planta (GIANOTTO *et al.*, 2019).

Os danos causados pelo inseto podem ser diretos, como quebra de caule e até morte de plantas jovens (Coração morto); ou indiretos, ao permitir a entrada de fungos no interior do colmo, causando a doença intitulada podridão vermelha, que provoca perda na qualidade da produção e no teor de açúcar nas plantas (SILVA, M. F. *et al.*, 2020). Dinardo-Miranda *et al.* (2013) demonstraram o impacto negativo sobre o TCH e ATR (Açúcar total recuperável): a cada 1% de infestação da broca-da-cana, há redução de 2,9% na produção de biomassa de cana-de-açúcar e 3,3% na produção de açúcar.

Na última década, a biotecnologia na cultura tem surgido como ferramenta capaz de facilitar o manejo de controle da broca, com alta eficácia. Entre as biotecnologias, citamos a primeira geração de cana transgênica, que são variedades com o gen Bt (*Bacillus thuringiensis*), responsável pela autoproteção contra o ataque da broca-da-cana (CTC, 2016).

A autoproteção na planta ocorre pelo fato de o gen Cry produzir uma proteína delta endotoxina originada de *Bacillus thuringiensis*, que é tóxica a insetos da ordem Lepidoptera, incluindo a broca-da-cana. O modo de ação dessa proteína requer interação específica com

receptores intestinais de insetos, interrompendo a função e a integridade do intestino, resultando em toxicidade e morte dos insetos (GIANOTTO *et al.*, 2019).

Apesar de hoje ser realidade o cultivo a nível comercial de variedades transgênicas de cana-de-açúcar, ainda se observa baixa adoção. O fato pode ser explicado por se tratar de uma nova tecnologia e, quando observamos a adoção de transgênicos em outras culturas, como soja e milho, uma década foi necessária para alcançar patamares de adoção acima de 80% (CROPLIFE BRASIL, 2020). Portanto, o processo é moroso para que o produtor entenda o real benefício da tecnologia. Assim como foi com os grãos, acredita-se que o cenário possa se repetir com a cana-de-açúcar.

Na condição em que a planta se encontra favorecida fisiologicamente, outras ferramentas de manejos podem contribuir na construção da produtividade, sendo que grande importância tem sido dada à estimulação foliar em cana-de-açúcar, com aplicação de nutrientes e aminoácidos, principalmente em solos pobres nutricionalmente, caso dos solos do cerrado brasileiro (NICCHIO *et al.*, 2016).

Lira (2018) relata que a disponibilização de nutrientes às plantas, especificamente micronutrientes, por meio de adubação foliar, por solução ou suspensão na parte aérea da planta, resultará em plantas bem mais nutridas, podendo também se refletir de forma positiva na produção das culturas.

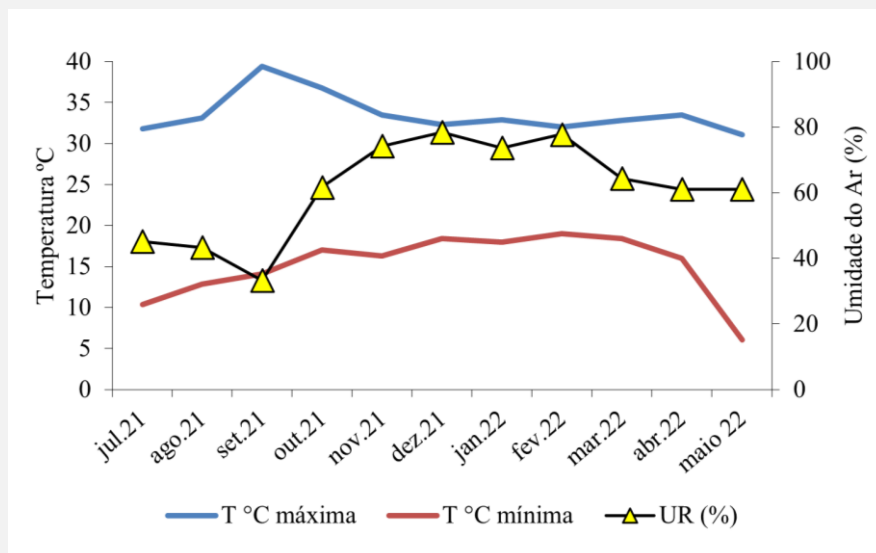
Andrade (2021), avaliando o efeito de nutrientes aplicado via foliar em cana-planta, observou aumento na rentabilidade econômica. Raposo Junior, Gomes Neto e Sacramento (2013), estudando estímulo foliar à base de nutrientes e aminoácidos, verificaram melhoria na produtividade de cana-de-açúcar, em comparação com a testemunha. Mas os resultados de pesquisa utilizando esta técnica em cana-de-açúcar ainda são escassos.

Todavia, novas tecnologias geram questionamentos quanto à performance de entrega, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas para direcionamento e assertividade do manejo. Neste contexto, o objetivo deste trabalho no Noroeste Mineiro foi estudar, avaliar e comparar a performance de variedades de cana-de-açúcar, transgênica e convencional, no ambiente irrigado.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no município de João Pinheiro, localizado no Vale do Paracatu, Noroeste Mineiro, situado nas coordenadas geográficas 17°03'53.15" S de latitude e 46°07'08.93" O de longitude, com altitude de 522 m. Tem clima classificado como Aw, com inverno seco e ameno, verão quente e chuvoso, com temperatura observada durante a condução do ensaio, média de 24,3 °C, mínima de 6,1 °C no mês de maio/2022 e máxima de 39,5 °C no mês de setembro/2021 (figura 1). Com relação à umidade relativa (UR) do ar, a maior UR foi de 78,4% no mês de dezembro/2022 e a menor, de 33,3% em setembro/2022.

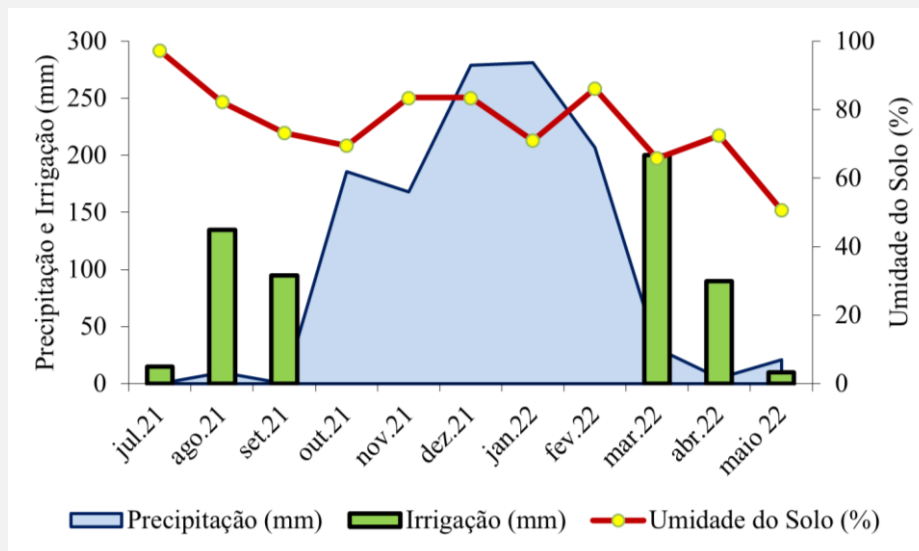
figura 1 - Temperatura e umidade relativa mensal durante o período de condução do ensaio.



Fonte: INMET (2022).

A área foi irrigada com pivô central rebocável. O manejo de lâminas de irrigação seguiu o sistema “Irriger Connect”, que toma como base o balanço hídrico, sensoriamento do solo, banco de imagens de satélite e checagem periódica presencial “in loco”. As lâminas de irrigação empregadas mantiveram a umidade de água no solo acima de 60% (figura 2). A irrigação foi feita entre julho e setembro/2021, 245 mm, e entre março e maio/2022, 300 mm. O volume total de irrigação foi 545 mm e a precipitação pluviométrica acumulada foi de 1.188 mm, com maior intensidade entre dezembro/2021 e janeiro/2022.

Figura 2 - Precipitação pluviométrica, lâmina de irrigação e umidade do solo registrada durante a condução do ensaio.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor (2022).

Pelo sistema nacional brasileiro de classificação de solos, Embrapa (2006) apud Naime *et al.* (2014), o solo da área é classificado como LVAd (Latosolo Vermelho-Amarelo Distrófico), de textura média a moderada, hiperdistrófico, álico, caulínítico, franco-arenoso, fase cerradão tropical, subcaducifólio e relevo plano. Este tipo de solo tem reservas muito limitadas de um ou mais nutrientes, sendo normalmente caracterizado pela baixa soma das bases trocáveis. Além disso, apresenta limitação quanto à disponibilidade hídrica, de moderada a forte no período de estiagem (NAIME *et al.*, 2014).

Para o plantio, procedeu-se, antes, ao preparo de solo. O preparo de solo foi feito em duas etapas, seguindo o padrão da usina. A primeira etapa, realizada entre os dias 18 e 22 de junho/2021, compreendeu as operações com grade pesada 32”, grade intermediária 28”, grade pesada 32” e aplicação de gesso. A segunda etapa, feita entre os dias 15 e 24 de julho/2021, compreendeu as operações com grade niveladora 22”, aplicação de calcário e aplicação de herbicida em pré-plantio incorporado.

O plantio foi feito na última semana de julho/2021 (figura 3) e seguiu o padrão da usina, do tipo convencional, manual, utilizando matraca para abertura de cova e plantio de muda pré-brotada (MPB).

Figura 3 - Área experimental após plantio de MPB.



Fonte: Foto tomada pelo autor (2022).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC). Na mesma área foram conduzidos dois experimentos: 1- O ensaio A, com quatro repetições e tratamentos formados por 6 genéticas de cana-de-açúcar, três convencionais, CTC20, CTC9001 e CTC9003, e três transgênicas, CTC20Bt, CTC9001Bt e CTC9003Bt; 2 - O ensaio B, com quatro repetições e tratamentos dispostos em esquema fatorial, 3 x 2, sendo três variedades de cana-de-açúcar transgênicas com e sem estímulo foliar, plantio composto pela mistura de complexo de aminoácido e complexo nutricional.

A parcela foi formada por quatro sulcos de plantio de 20 m, seguindo o espaçamento de 1,5 m entre sulcos e 0,6 m entre MPB, totalizando 140 MPB numa área de 120 m². Cada ensaio teve 24 parcelas, área total de 0,288 m² e 3.360 MPB. Para a instalação dos ensaios, foi feita uma lâmina prévia de irrigação, elevando a umidade do solo para 97,25%.

No ensaio B, nas parcelas com estímulo foliar, em dezembro/2021 foi feita a primeira aplicação, a segunda foi feita em fevereiro/2022. Foram utilizados, em conjunto, dois produtos comerciais, à base de complexo de aminoácidos e complexo nutricional (ureia, 26,09%; sulfato de zinco mono-hidratado, 15-25%; sulfato de manganês mono-hidratado, 10-20%; cloreto de potássio, 10-20%; sulfato de magnésio, 2-10%; octaborato de dissódio tetra-hidratado, 2-10%; segredo industrial I, 1-5%; ácido bórico, 1-5%; e segredo industrial II, 0,5-1%), respectivamente, 1 L ha⁻¹ e 2 kg ha⁻¹. A aplicação foi manual mantendo a vazão constante com o pulverizador costal eletrônico.

As variáveis avaliadas foram o índice de infestação final (IIF) de dano de broca, quantificação do ATR, a quantificação do TCH e de tonelada de açúcar por hectare (TAH), determinadas no ato da colheita, em maio/2022.

Para IIF, foram coletadas 10 canas/parcela, totalizando 833 canas/ha. Amostragem bem superior à recomendada por Silva, J. *et al.* (1997), de 20 canas/ha, e de Macedo, N. *et al.* (2013), de 125 canas/até 50 ha. As canas, foram escolhidas de forma aleatória em cada sulco de plantio na parcela, seccionadas longitudinalmente, quantificados o número total de internódio (NTI) e o número total de internódios danificados pela broca (NTIDB). O IIF foi calculado [Equação (1)].

$$IIF (\%) = (NTIDB/NIT) \times 100 \quad (1)$$

Para a determinação do ATR, procedeu-ser a uma amostragem de 10 canas/parcela, coletadas de forma aleatória e encaminhadas ao laboratório de análise química.

Com o auxílio de colhedora de cana e caminhão balança, figura 4, aferiu-se o peso, kg/parcela. Com o peso, estimou-se o TCH [Equação (2)].

$$TCH (t ha^{-1}) = \left(\frac{10.000 \times \text{peso parcela (kg)}}{120 \times 1.000} \right) \quad (2)$$

Figura 4 - Colheita da área experimental.



Foto: Foto tomada pelo autor (2022).

De posse do TCH e da ATR, determinou-se o TAH [Equação (3)].

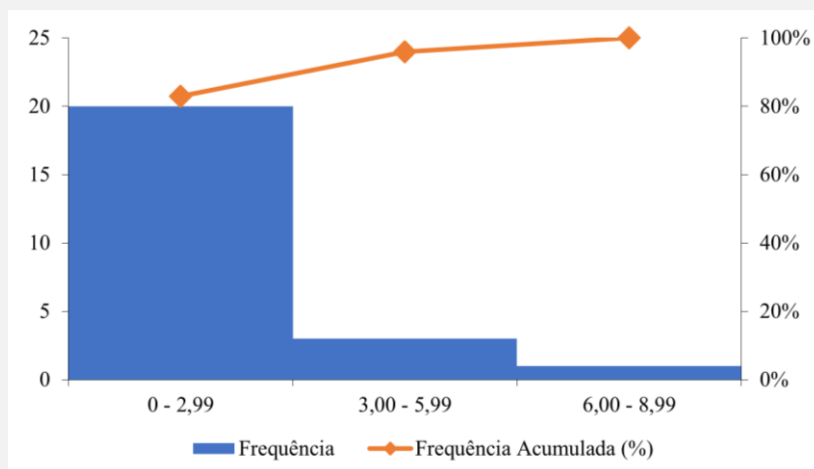
$$TAH (t ha^{-1}) = (TCH \times ATR)/1.000 \quad (3)$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Para os resultados que apresentaram diferença significativa, foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR, a estatística descritiva também foi utilizada.

Resultados e discussão

Os resultados evidenciaram que 83% das amostras apresentaram índice de infestação final (IIF) de broca entre 0 e 2,99%; 13% das amostras, IIF entre 3,00 e 5,99%; e 4% das amostras, entre 6,00 e 8,99% (figura 5). Ainda que vários trabalhos mostrem redução no rendimento agrícola da cultura a cada 1% de infestação final (ARRIGONI, 2002; DEMÉTRIO; ZONETTI; MUNHOZ, 2008; DINARDO-MIRANDA; FRACASSO; PERECIN, 2011; ROSSATO *et al.*, 2013), para Macedo, N. e Macedo, D. (2004), Ferreira *et al.* (2018) e Silva, M. F., Funichello e Souza (2020), o nível de dano econômico é de 3%. Considerando o fato, 83% das parcelas ficaram abaixo do nível de dano econômico preconizado.

Figura 5 - Índice de infestação final (IIF) de danos provocados pela broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) no experimento.

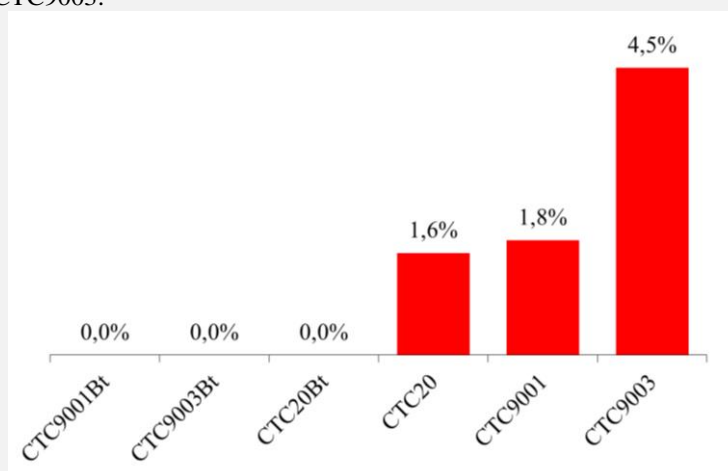


Fonte: Gráfico elaborado pelo autor (2022).

Observando a média do IIF por cultivar, as variedades transgênicas CTC9001Bt,

CTC9003Bt e CTC20Bt apresentaram 0%, enquanto as convencionais, em ordem crescente, 1,6%, 1,8% e 4,5%, respectivamente, CTC20, CTC9001 e CTC9003 (figura 6). Ressaltamos que entre as cultivares, apenas na cultivar CTC9003 o IIF de broca superou o nível de dano econômico.

Figura 6 - IIF de danos provocados pela broca-da-cana nas cultivares CTC9001Bt, CTC9003Bt, CTC20Bt, CTC20, CTC9001 e CTC9003.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor (2022).

A severidade do ataque à planta tem relação direta com o número de gerações da praga no ambiente. Contudo, quanto maior o número de gerações da praga no local, maior a população de insetos, maior o número de entrenós atacados, conseqüentemente, maior o IIF. No obstante, houve ocorrência da praga na área, mas o impacto observado nas variedades convencionais foi abaixo do esperado, pois alguns trabalhos revelam tendência de as cultivares modernas serem mais suscetíveis à broca. Essa questão tem relação direta com o melhoramento genético que, na busca por cultivares mais produtivas e ricas em açúcar, seleciona genótipos mais suscetíveis à praga (DINARDO-MIRANDA *et al.*, 2013).

A broca-da-cana, *Diatraea saccharalis*, tem ciclo entre 61 e 74 dias (SILVA, M. F.; FUNICHELLO; SOUZ, 2020), podendo ter várias gerações por ano e ocorrer em todas as fases fenológicas de desenvolvimento da planta, influenciada por alguns fatores, principalmente o clima.

Teran-Peredo (1982) constatou que ambientes irrigados são altamente favoráveis ao surgimento da praga em razão do microclima proporcionado pela água. Apesar da irrigação na área e de não ter sido induzido controle para a broca-da-cana, percebeu-se que as variedades

transgênicas, ocupando 50% do espaço, influenciaram na quebra do ciclo da praga no ambiente, o que explica a baixa infestação em maior parte das parcelas, 83%, refletindo baixo IIF em duas das três cultivares convencionais, CTC20 e CTC9001. Esses achados são confirmados por Lopes *et al.* (2022), que observaram supressão populacional de *Diatraea saccharalis*, atribuída à presença de variedades Bt (CTC20Bt e CTC9001Bt) no ambiente, o que resultou em baixos índices de infestação de broca-da-cana nas variedades convencionais CTC9001 e RB975952.

No entanto, presume-se que, com o aumento de áreas cultivadas com variedades de cana transgênica, Bt, haverá redução no emprego de agroquímicos para o controle desta praga, contribuindo com a sustentabilidade ambiental da atividade (GUIDUCCI *et al.*, 2021).

A tabela 1, dados do ensaio A, mostra que não houve diferença significativa entre variedades para a variável TCH. Campos *et al.* (2014), estudando o desempenho de 16 variedades de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano, submetidas à irrigação suplementar, também não encontraram diferença estatística para variável biomassa, mas destacaram aquelas com maiores médias.

A média de TCH do ensaio foi de 124,57, em comparação com a média regional, a variação foi positiva, 48,87 TCH. Isso demonstra o potencial do ambiente irrigado, que possibilita o plantio em época de déficit hídrico, com alta entrega de biomassa.

As variedades CTC20Bt, CTC9003Bt, CTC9003 e CTC9001 ficaram acima da média, enquanto as cultivares CTC20 e CTC9001Bt, abaixo da média. No grupo que ficou acima da média, destacamos a variedade CTC9001, que apresentou a maior média e entregou 130 de TCH.

Tabela 1 - Análise de variância para tonelada de cana por hectare (TCH) e açúcar total recuperável (ATR) das variedades estudadas.

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio	
		TCH	ATR
Variedade	5	71,98 ^{ns}	126,87**
Bloco	3	438,60*	104,31*
Resíduo	15	96,78	26,91
CV (%)		7,90	3,55
Média		124,57	145,96
DMS		22,61	11,92

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

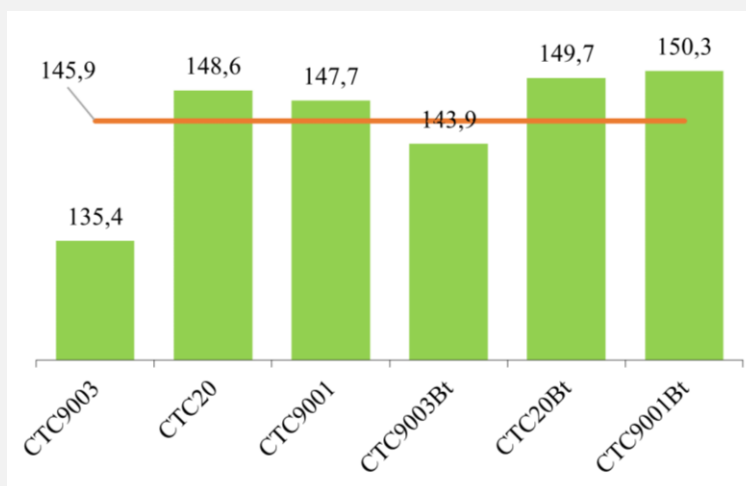
**Significativo entre si a 1% de probabilidade pelo teste F; *Significativo entre si a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Para ATR, ocorreu diferença significativa ($p < 0.01$), confirmando com Rossato *et al.* (2013), que, trabalhando com a cultivar SP80-3280, tendo alta infestação de broca, averiguaram que a produtividade de colmo não foi afetada, enquanto a qualidade da matéria-prima e o rendimento de sacarose foram reduzidos. Em estudos desenvolvidos por Dinardo-Miranda *et al.* (2012) e Ferreira *et al.* (2018), também se percebeu diminuição na qualidade tecnológica da cana com o aumento do índice de infestação de broca.

A cana-de-açúcar, ao ser atacada por praga e/ou patógeno, reage bioquimicamente, produzindo substâncias de defesa, como compostos fenólicos. Também pode ocorrer a inversão de sacarose em glicose e frutose, como mecanismo de defesa, assim impactando a qualidade da matéria-prima construída no colmo (ROSSATO *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2018).

Verifica-se na figura 7 que a variedade transgênica CTC9001Bt apresentou maior média de quilos de açúcar por tonelada de cana, seguida pela CTC20Bt, Essas duas cultivares, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de comparação de médias, foram superiores à cultivar CTC9003, que apresentou maior IIF de broca. Ressaltamos que todas as cultivares Bt apresentaram IIF de broca igual a zero.

Figura 7 - Açúcar total recuperável das cultivares CTC9003, CTC9003Bt, CTC9001, CTC20, CTC20Bt e CTC9001Bt.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor (2022).

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

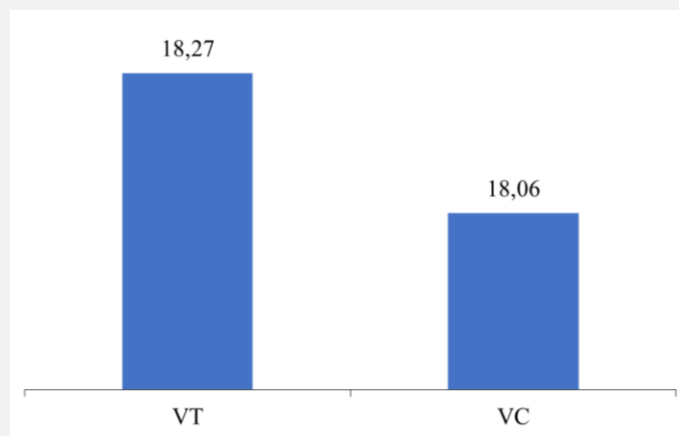
A CTC9003, comparada ao ser par, o genótipo transgênico CTC9003Bt, não diferiu estatisticamente. Com relação à média, 145,9 kg de ATR/t de cana, os dois genótipos ficaram abaixo, sendo que a maior variação negativa, 7,2% (-10,5 kg de açúcar/t de cana), foi da

CTC9003. As demais cultivares convencionas (CTC9001 e CTC20) foram estatisticamente semelhantes às cultivares transgênicas e superiores à cultivar CTC9003. Enfatizamos que a CTC9001 e CTC20 apresentaram IIF de broca inferior ao nível de dano econômico advertido.

Para Cristofolletti *et al.* (2018), a alta eficácia no controle da praga das cultivares transgênicas está relacionada à expressão da proteína Bt presente em várias partes da planta e durante todo seu desenvolvimento. Os neonatos da broca inicialmente se alimentam das folhas, posteriormente, descem para bainha e continuam seu processo de alimentação. Na cana transgênica, a broca se intoxica com a proteína Bt e morre antes de adentrar o colmo, durante a fase de alimentação nas folhas. Diferentemente da cana convencional, em que a praga consegue completar seu ciclo, em caso de ausência e/ou mesmo na presença de estratégias de controle, químico ou biológico, causando danos relacionados à qualidade da matéria-prima (ASSIS *et al.*, 2019), conseqüentemente, gerando redução no ATR.

O conjunto formado pelas variedades transgênicas (VT) entregou média de 18.270 kg de açúcar por hectare, enquanto as convencionais (VC), 18.060 kg de açúcar por hectare, variação positiva de 210 kg de açúcar por hectare (figura 8). Pressupõe-se que a broca tenha sido a causadora da diminuição, pois a média de IIF nas VC foi de 2,63%, próxima do nível de dano econômico, enquanto nas VT, foi de 0%, o que demonstra a autoproteção do rendimento agrícola das cultivares transgênicas Bt contra o ataque da praga. Os efeitos do ataque da broca e a autoproteção das cultivares transgênicas também foram demonstrados por Gao *et al.* (2016) no desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar transgênicas.

Figura 8 - Média de tonelada de açúcar por hectare do conjunto de variedades transgênicas (VT) versus convencional (VC).



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor (2022).

A redução de açúcar também foi percebida por Cristofolletti *et al.* (2018), que mencionaram perdas de 300 kg de açúcar por hectare na região centro-sul do Brasil a cada 3% de infestação final de broca na cana. Da mesma forma, Borges Filho *et al.* (2019) estimam que a broca provoca diminuição de 138 kg de açúcar por hectare nas regiões subtropicais, para uma infestação final de 3%.

A redução no teor de açúcar está associada à ocorrência de microrganismos dentro das galerias feitas pela broca no interior do colmo, o que resulta na doença denominada “podridão vermelha”, provocando a inversão da sacarose armazenada no colmo da planta, transformando-a em glicose e frutose, açúcares redutores (DINARDO-MIRANDA *et al.*, 2012).

Na tabela 2, ensaio B, na comparação entre variedades transgênicas com e sem estímulo foliar, pela análise de variância, observa-se que não houve diferença significativa entre as variáveis TCH, ATR e TAH. Resultados estes que confirmam aqueles encontrados por Nicchio *et al.* (2020), que, trabalhando com estímulo foliar, aplicação de diferentes fertilizantes via foliar, nas cultivares de cana-de-açúcar RB867515, SP81-3250 e RB855536, não atestaram diferença significativa entre os tratamentos, considerando o rendimento agroindustrial. Alguns fatores podem interferir no resultado esperado, como exposto por Nicchio *et al.* (2020), que enfatizaram o clima como veículo influenciador. Assim sendo, o período em que a planta recebeu o estímulo foliar no ensaio coincidiu com excesso pluviométrico, o que pode ter impactado no resultado final.

Tabela 2 - Análise de variância para tonelada de cana por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR) e tonelada de açúcar por hectare (TAH) das variedades GM (Geneticamente Modificadas) com (CEF) e sem estímulo foliar (SEF)

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio		
		TCH	ATR	TAH
Variedade (V)	2	47,13 ^{ns}	64,08 ^{ns}	0,28 ^{ns}
Estímulo Foliar (EF)	1	114,93 ^{ns}	30,80 ^{ns}	5,54 ^{ns}
V x EF	2	119,87 ^{ns}	119,46 ^{ns}	1,57 ^{ns}
Bloco	3	281,60 ^{ns}	99,91 ^{ns}	7,96 ^{ns}
Resíduo	15	97,19	55,53	4,06
CV (%)		7,84	5,00	10,75
Média	CEF	128	150,3	19,2
	SEF	124	148,0	18,3

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Ainda que, para Korndörfer (1994 apud NICCHIO, 2016, p.193), o estímulo nutricional aplicado via foliar possa aumentar a produtividade de colmos e a quantidade de açúcar por hectare, em vários trabalhos é possível constatar incremento significativo da produtividade. Vazquez e Sanches (2010) concluíram que o estímulo foliar com micronutrientes proporcionou acréscimos na produtividade da cana-de-açúcar. Hervantin (2018) encontrou ganho de 13 t ha⁻¹ em relação ao tratamento controle, estudando estímulo foliar em cinco variedades de cana-de-açúcar convencionais.

Verificando as médias das cultivares transgênicas submetidas ao estímulo foliar, a variação foi positiva em comparação com as cultivares não estimuladas, para todas as variáveis, 4 TCH e 2,3 kg de ATR, o que resultou em 900 kg de açúcar/ha.

De acordo Cerri *et al.* (2022), a cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, altamente eficiente na conversão de CO₂ atmosférico em composto orgânico. Cada hectare de cana, anualmente, remove cerca de 60 toneladas de CO₂ da atmosfera, incorporando-o à biomassa vegetal (CHERUBIN *et al.*, 2019).

Lavouras canavieiras mais produtivas resultam em maiores taxas de sequestro de carbono da atmosfera e, conseqüentemente, em redução na emissão de gases de efeito estufa (CERRI *et al.*, 2022). Deste modo, ferramentas tecnológicas que ajudam na verticalização da produtividade de cana, além de equilibrar a relação custo-benefício da produção, possibilitam maior sequestro de carbono em reservatórios de biomassas por hectare (KERDAN *et al.*, 2019), o que coopera na mitigação das mudanças climáticas.

Conclusões

As conclusões alcançadas foram:

- a) as variedades transgênicas, Bt, mostraram alta eficácia no controle da broca-da-cana;
- b) a produtividade de colmos de cana não foi impactada, mas a qualidade da matéria-prima (ATR) foi reduzida com o aumento do índice de infestação final de broca;
- c) a irrigação proporcionou alta entrega agroindustrial, com destaque para as variedades CTC9001 e CTC9001Bt, respectivamente maior média de TCH e maior média de ATR;

d) as cultivares Bt proporcionaram melhor qualidade da matéria-prima, o que se refletiu em variação positiva para variável TAH; e

e) o estímulo foliar não influenciou na produtividade agroindustrial dos organismos geneticamente modificados.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília/DF, 2.ed., 2021, 130p.

ANDRADE, R. de P. **Adubação foliar com micronutrientes em cana-planta**. 2021, 49 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico, Programa de Pós-graduação – Agricultura tropical e subtropical, Campinas/SP, 2021.

ARRIGONI, E. B. Broca-da-cana-de-açúcar: importância econômica e situação atual. *In*: ARRIGONI, E. B.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; ROSSETO, R. (ed). **Pragas da cana-de-açúcar: importância econômica e abordagens atuais**. Piracicaba: STAB/IAC/CTC, 1-4, 2002.

ASCOLI, A. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; SENTELHAS, P. C.; TEIXEIRA, A. H. de C.; AMENDOLA, E. C.; ASCOLI, R. T. **Necessidade de irrigação na cultura da cana-de-açúcar em função da época de colheita**. IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 11 p., 2017.

ASSIS, H. L. B. de; PAIVA, P. E. B.; SILVA, P. C. R. da; MORAIS, G. G. de. Eficácia de clorantpriliprolí aplicado no sulco de plantio e em pulverização no controle da broca-da-cana. *Científica*, Dracena, SP, v.47, n.3, p.278-282, 2019.

BORGES FILHO, R. da C.; STURZA, V. S.; BERNARDI, D.; CUNHA, U. S. da; PINTO, A. S. Population dynamics of pests and natural enemies on sugar cane grown in a subtropical region of Brazil. *BioOne Digital Library, Florida Entomologist*, v.102, n.3, p.526-530, 2019.

CAMPOS, P. F.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; FONTOURA, P. R.; EVANGELISTA, A. W. P. Variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação suplementar no Cerrado Goiano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.34, n.6, p.1139-1149, dez. 2014.

CTC - CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Guia para gestão responsável de variedades de cana geneticamente modificadas**, Centro de Tecnologia Canaveieira, CTC20BT, out. 2017. 8p.

Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://ctc.com.br/produtos/storage/2018/04/GUIA-PARA-GEST%C3%83O-RESPONS%C3%81VEL-DE-VARIEDADE-DE-CANA-GENETICAMENTE-MODIFICADA_.pdf>. Acesso em: 11 set. 2022.

CTC - CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Causando prejuízos bilionários, a broca-da-cana é um dos maiores problemas das usinas.** 2016.

Disponível em: <<https://ctc.com.br/causando-prejuizo-bilionario-broca-da-cana-e-um-dos-maiores-problemas-das-usinas/#:~:text=Todas%20as%20not%C3%ADcias%20causando%20preju%C3%ADzo%20bilion%C3%A1rio%2C%20broca%20da%20cana%20%C3%A9,dos%20maiores%20problemas%20das%20usinas&text=Com%20d%C3%ADvidas%20que%20passam%20dos,que%20o%20setor%20assiste%20anualmente>>._Acesso em: 19 out. 2021.

CERRI, C. E. P.; CHERUBIN, M. R.; DENNY, D. M. T.; CANTARELLA, H.; NOGUEIRA, L. A. H.; MATSUURA, M. I. da S. F.; GANDINI, M.; STUCHI, A. A. Carbon balance in the sugarcane sector - Conference Report. **Journal of Cleaner Production**, v.375, p.134090, 2022.

CHERUBIN, M. R.; LISBOA, I. P.; SILVA, A. G. B.; VARANDA, L. L.; BORDONAL, R. O.; CARVALHO, J. L. N.; OTTO, R.; PAVINATO, P. S.; SOLTANGHEISI, A.; CERRI, C. E. P. Sugarcane Straw Removal: Implications to Soil Fertility and Fertilizer Demand in Brazil. **BioEnergy Research**, v. 12, n. 4, p. 888-900, Springer, New York, USA, 2019.

COELHO, A. P.; DALRI, A. B.; LANDELL, E. P. de A.; FARIA, R. T. de; PALARETTI, L. F. Produtividade inicial e eficiência no uso da água de cultivares de cana-de-açúcar fertirrigadas e plantadas por mudas pré-brotadas. **Scientia Agrária**, Biblioteca digital de periódicos da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, v.19, n.2, p.57-64, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO: ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA. **Cana-de-açúcar – safra 2022/2023, 2º levantamento.** 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 3 ago. 2022.

CROPLIFE BRASIL. Conceitos. **Transgênicos, conheça os produtos que revolucionaram a agricultura no mundo.** 2020.

Disponível em: <<https://croplifebrasil.org/conceitos/transgenicos-conheca-os-produtos-que-revolucionaram-a-agricultura-no-mundo/> <https://croplifebrasil.org/conceitos/transgenicos-conheca-os-produtos-que-revolucionaram-a-agricultura-no-mundo>>. Acesso em: 07 jan. 2022.

CRISTOFOLETTI, P. T.; KEMPER, E. L.; CAPELLA, A. N.; CARMAGO, S. R.; CAZOTO, J. L.; FERRARI, F.; GALVAN, T. L.; GAUER, L.; MONGE, G. A.; NISHIKAWA, M. A.; SANTOS, N. Z.; SEMEAO, A. A.; SILVA, L.; WILLSE, A. R.; ZANCA, A.; EDGERTON, M. D. Development of transgenic sugarcane resistant to sugarcane borer. **Tropical Plant biology**, Springer publisher, Dordrecht, Netherlands, v.11, n.1/2, p.17-30, 2018.

DEMETRIO, P. A.; ZONETTI, P. da C.; MUNHOZ, R. E. F. Avaliação de clones de cana-de-açúcar promissores RBs quanto à resistência à broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) na região noroeste do Paraná. **Iniciação Científica: CESUMAR**, v.10, n.1, p.13-16, 2008.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V.; PERECIN, D. Variabilidade espacial de populações de *Diatraea saccharalis* em canaviais e sugestão de método de amostragem. **Bragantia**, Campinas, SP, v.70, n.3, p.577-585, 2011.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V.; ANJOS, I. A. dos; GARCIA, J.; COSTA, V. P. da. Influência da infestação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) sobre parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, SP, v.71, n.3, p.342-345, 2012.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V.; COSTA, V. P. da; ANJOS I. A. dos; LOPES, D. O. P. Reação de cultivares de cana-de-açúcar à broca do colmo. **Bragantia**, Campinas, SP, v.72, n.1, p.29-34, 2013.

FERREIRA, C. A. da S.; SANTANA, M. V.; SANTOS, J. B. dos; SANTOS, T. T. M. dos; LÔBO, L. M.; FERNANDES, P. M. Yield and technological quality of sugarcane cultivars under infestation of *Diatraea saccharalis* (Fab., 1794). **Plant Parasitology**, Arq. Inst. Biol., n.85, p.7, 2018.

GAO, S.; YANG, Y.; WANG, C.; GUO, J.; ZHOU, D.; WU, Q.; SU, Y.; XU, L.; QUE, Y. Transgenic sugarcane with a *cry1Ac* gene exhibited better phenotypic traits and enhanced resistance against sugarcane borer. **Plos one**, Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), SPAIN, v.11, n.4, p.e0153929, 2016.

GERENCIAMENTO DE IRRIGAÇÃO. **Irriger connect**. Disponível em: <<http://www.irriger.com.br/pt-br>>. Acesso em: 17 out. 2021; disponível em: <<https://www.landirrigacao.com.br/produto/irriger-4>>. Acesso em: 15 set. 2022.

GIANOTTO, A. C.; ROCHA, M. S; CUTRI, L.; LOPES, F. C.; DAL'ACQUA, W.; HJELLE, J. J.; LIRETTE, R. P.; OLIVEIRA, W. S.; SERENO, M. L. The insect-protected CTC91087-6 sugarcane event expresses Cry1Ac protein preferentially in leaves and presents compositional equivalence to conventional sugarcane. **GM Crops & Food**. v.10, n.4, p.208-219, 2019.

GUIDUCCI, R. do C. N.; SABAINI, P. S.; MOLINARI, H. B. C.; LUCCA, P. C. **Impactos econômicos e ambientais (ex-ante) da adoção da cultivar de cana-de-açúcar BRS3280BtRR no contexto de perdas agrícolas e industriais provocadas pela broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) no Brasil**. CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIEDADE RURAL – SOBER, 59., Embrapa Agroenergia, Publicações, Brasília/DF, 16p., 2-6 ago. 2021.

HERVATIN, C. de M. **Adubação foliar associada à aplicação de maturador na cana-de-açúcar em início de safra**. 2018. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - FCA Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações meteorológicas**. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 1 ago. 2022.

KERDAN, I. G.; GIAROLA, S.; JALIL-VEJA, F.; HAWKES, A. Carbon Sequestration Potential from Large-Scale Reforestation and Sugarcane Expansion on Abandoned Agricultural Lands in Brazil. **Polytechnica**, v.2, p.9-25, 2019.

LIRA, M. V. da S. **Adubação de plantio e foliar com micronutrientes na produção da cana-de-açúcar**. 2018. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Unesp – Campus Dracena, Dracena, SP, 2018.

LOPES, A. B.; SOUSA, B. B.; OLIVEIRA, R. A. P. de; GUIMARÃES, C. R. R.; CERQUEIRA, F. B. Technological evaluation of four sugarcane cultivars as a function of *Diatraea saccharalis* infestation in Pedro Afonso, TO - case study. **Research, Society and Development** [S.l.]. v.11, n.13, p. e340111335388, 2022.

MACEDO, N.; MACEDO, D.; CAMPOS, M. B. S. de; NOVARETTI, W. R. T; FERRAZ, L. C. C. B. Manejo de pragas e nematoides. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol – tecnologias e perspectivas**. 2.ed., UFV, Viçosa, MG, p.119-159, 2013, 637p.

MACEDO, N.; MACEDO, D. **As pragas de maior incidência nos canaviais e seus controles**. USP/ESALQ, Piracicaba/SP, 2004. 9p.

NAIME, U. J.; MOTTA, P. E. F. da; SILVA, D. C. da; SIMÃO, M. L. R.; SANTOS, A. J. R. dos. **Solos e avaliação do potencial agrossilvipastoril das microrregiões Paracatu e Unaí – Minas Gerais**. EPAMIG, Belo Horizonte/MG, 22.ed., 2014. 106p.:il.

NICCHIO, B.; SANTOS, G. A.; RAMOS, L. A.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. **Aplicação foliar de fertilizantes no desenvolvimento, produção e qualidade de soqueira de cana-de-açúcar**. CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIRO E ALCOOLEIRO DO BRASIL, 10., Ribeirão Preto, SP, 2016. 5p.

NICCHIO, B.; SANTOS, G. A.; LINO, A. C. M.; RAMOS, L. A.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito da adubação foliar em soqueira de cana-de-açúcar. **Acta Iguazu**, Cascavel, PR, v.9, n.2, p.10-24, 2020.

PANNUTI, L. E. da R.; BALDIN, E. L. L.; GAVA, G. J. de C.; KÖLLN, O. T.; CRUZ, J. C. S. Danos do complexo broca-podridão à produtividade e à qualidade da cana-de-açúcar fertirrigada com doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.48, n.4, p.381-387, 2013.

RAPOSO JUNIOR, J. L.; GOMES NETO, J. A.; SACRAMENTO, L. V. S. Evaluation of different foliar fertilizers on the crop production of sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**. v.36, n.3, p.459-469, 2013.

ROSSATO Jr., J. A. de S.; COSTA, G. H. G.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M. J. R.; HIGLEY, L. G.; FERNANDES, O. A. Characterization and impact of the sugarcane borer on

sugarcane yield quality. **Agronomy Journal**, Society of America, v.105, n.3, p.643-648, 2013.

SILVA, J. A. A. da; CAMPOS, A. L. de; VEIGA, A. F. S. L. da; MOREIRA, A. F. C. M.; MARQUES, E. J. Estimativa da suficiência amostral para avaliar intensidade de infestação da *Diatraea spp* em cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v.32, n.10, p.1003-1007, 1997.

SILVA, M. de A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. de L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de cultivares e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, RN, v.18, n.3, p.241-249, maio 2014.

SILVA, M. F. da; FUNICHELLO, M.; SOUZA, D. M. de. Performance of insecticides in control of *Diatraea saccharalis* (*Lepidoptera: Crambidae*) in sugarcane. **Arq. Instituto Biológico**, São Paulo, SP, v.87, p.1-6, 2020.

SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R. de; SALVIANO, A. M.; SILVA, J. S.da; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M. J. M. Efficient irrigation management in sugarcane cultivation in saline soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, RN, v.87, 6p. 2020.

TERAN-PEREDO, F. O. **Fatores que afetam o manejo integrado de *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (*Lepidoptera: Pyralidae*) em cana-de-açúcar.** 1982. 170p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, nov. 1982.

VAZQUEZ, G. H.; SANCHES, A. C. Formas de aplicação de micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. **Nucleus**, v.7, n.1, p.1-10, 2010.

XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. de A.; PIRES, R. C. de M.; ROSSETTO, R.; MIRANDA, L. L. D.; PERECIN, D.; PRADO, H. do; GARCIA, J. C; VITTI, A. C.; FRACASSO, J.; AZANIA, C. A. M.; ANJOS, I. A. dos; SUGUINO, E.; SCARPARI, M. S.; AFERRI, G.; KANTHACK, R. A. D.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N. da; MATSUO, R. S.; NEVES, J. C. T.; PERRUCCO, D.; SILVA, V. H. P. da; SILVA, T. N. da; OHASHI, A. Y. P.; OLIVEIRA JUNIOR, G. B. de; MENDONÇA, J. R.; PETRI, R. H.; REIS, V. B. V. dos; BORGES, I. S.; RODRIGUES, P. E.; LUX, A. M. da. Gemas brotadas da cana-de-açúcar: produção sustentável e utilização experimental na formação de áreas de multiplicação. **Boletim Técnico**. Instituto Agronômico, Campinas: Instituto Agronômico, SP, 2020. 52p.