

WELLISSON JOSÉ MAURÍCIO DE ANDRADE

**EFEITO DO GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO E LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO SOBRE ASPECTOS FISIOLÓGICOS, ACÚMULO E EXPORTAÇÃO
DE NUTRIENTES NA CANA-DE-AÇÚCAR**

RECIFE - PE
JUNHO DE 2021

WELLISSON JOSÉ MAURÍCIO DE ANDRADE

**EFEITO DO GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO E LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO SOBRE ASPECTOS FISIOLÓGICOS, ACÚMULO E EXPORTAÇÃO
DE NUTRIENTES NA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação de Mestrado apresentado
ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola da Universidade
Federal Rural de Pernambuco para
obtenção do Título de Mestre em
Engenharia Agrícola.
Orientador: Prof. Dr. Gerônimo
Ferreira da Silva

RECIFE - PE
JUNHO DE 2021

Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação Universidade Federal Rural
de Pernambuco Sistema Integrado de
Bibliotecas

Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos
pelo(a) autor(a)

A553e ANDRADE, WELLISSON JOSÉ MAURÍCIO

EFEITO DO GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO
SOBRE ASPECTOS FISIOLÓGICOS, ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES NA
CANA-DE-AÇÚCAR /WELLISSON JOSÉ MAURÍCIO ANDRADE. - 2021.

97 f. : il.

Orientador: Geronimo
Ferreira da Silva. Inclui
referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2021.

1. Saccharum officinarum. 2. Irrigação por pulso. 3. RB041443. 4. extração de
nutrientes. I. Silva, Geronimo Ferreira da, orient. II. Título

CDD 630

**EFEITO DO GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO E LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO SOBRE ASPECTOS FISIOLÓGICOS, ACÚMULO E EXPORTAÇÃO
DE NUTRIENTES NA CANA-DE-AÇÚCAR**

WELLISSON JOSÉ MAURÍCIO DE ANDRADE

Dissertação defendida e aprovada em 30 de junho pela Banca
Examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva

DEAGRI - UFRPE

Examinadores:

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva

DENA - UFC

Dr. Djalma Euzebio Simões Neto

EECAC - UFRPE

Prof. Dra. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

DEAGRI - UFRPE

A minha esposa, pais, irmãos, sobrinhos e amigos.

DEDICO E OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por me conceder a vida, paciência, persistência e principalmente força para superar cada obstáculo permitindo chegar até aqui e por se fazer verdadeiramente presente em todos os momentos;

Aos meus pais: Ubiratan (Bira) e Valdenice (Ncinha), que mesmo diante das dificuldades, sempre fizeram de um tudo para que eu conseguisse alcançar os meus objetivos;

A minha Esposa: Amanda Oliveira, pelo carinho, companheirismo, paciência... por todo seu amor; e aos seus pais Maria e Antônio;

Aos meus irmãos: Williana, Williberton e Aline Oliveira (Cunhada); Aos meus Sobrinhos: Isadora e Pedro Vinícius, pelo apoio e carinho durante esta jornada;

A Universidade Federal Rural de Pernambuco - Departamento de Engenharia Agrícola; ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade;

A Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da Bolsa de estudo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro para a execução da pesquisa;

Ao meu orientador professor Gerônimo Ferreira da Silva, pela amizade, paciência, motivação e ensinamentos transmitidos durante ao logo desse tempo;

Ao Professor Manassés Mesquita pelos ensinamentos e colaboração no projeto;

Em especial ao Grupo de Estudo em Irrigação e Nutrição de Plantas (GEINP), pela amizade, esforço, dedicação, compreensão, parceria e

amizade que levarei sempre comigo: Sirleide Menezes, Anna Cecília, Madson Rafael;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a efetivação da pesquisa, desde as atividades de campo até às análises laboratoriais;

E aos amigos que a pós-graduação me presenteou, aqueles que levarei com carinho no lado esquerdo do peito.

A todos os amigos e irmãos de Fé do Templo Filhos da Luz, Elizangelo, Michelly, Anderson Jordep, Débora, Severina (Madrinha Silva), Arquiles Petrus (mestre Kayaraserá), Dennifa...

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação profissional e a realização deste trabalho.

Obrigado!

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	9
INTRODUÇÃO GERAL	10
REVISÃO DE LITERATURA	12
A cultura da cana-de-açúcar	12
Estresse hídrico	13
Irrigação	14
Aspectos fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar	17
Nutrição mineral da cana-de-açúcar	19
REFERÊNCIAS	24
CAPÍTULO II.....	35
TROCAS GASOSAS DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO E CONTÍNUO	36
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAL E MÉTODOS.....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS	57
CAPÍTULO III.....	64
EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO E CONTÍNUO	65
INTRODUÇÃO.....	67
MATERIAL E MÉTODOS.....	69
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
CONCLUSÕES.....	91
REFERÊNCIAS	91

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL/ REVISÃO DE LITERATURA

INTRODUÇÃO GERAL

A produção de cana-de-açúcar desempenha um papel fundamental na geração de matéria prima para as agroindústrias do açúcar, do álcool e de alguns subprodutos.

De acordo com a CONAB (2020), a área cultivada com cana-de-açúcar e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2020/21 está estimada em 8.409,8 milhões de hectares, com produtividade média de 76,348 t ha⁻¹.

No Estado de Pernambuco, grande parte da produção ocorre em áreas costeiras. Nessas áreas, apesar dos altos índices pluviométricos anuais, a distribuição irregular em determinados períodos do ano proporciona a necessidade da prática da irrigação para obtenção de rendimentos satisfatórios.

Nas últimas décadas se constatou um avanço considerável da irrigação, tanto no que diz respeito ao aprimoramento de novos métodos de distribuição de água ao solo e às culturas, quanto no incremento de novas áreas irrigadas (BUSATO et al., 2011).

Dentre os métodos de distribuição de água ao solo e às plantas destaca-se o método de irrigação localizada por gotejamento. Este método quando associado a fertirrigação e manejado de maneira adequada, proporciona uma eficiente disponibilização de água e de nutrientes para as plantas. Para Costa et al. (2015), o uso da fertirrigação permite realizar ajustes aos diferentes estádios fenológicos das culturas contribuindo para o aumento da eficiência de uso e economia de fertilizantes.

Na busca de resultados cada vez mais satisfatórios com o uso da irrigação localizada surgiu a irrigação por gotejamento subsuperficial (SDI), técnica esta capaz de promover o uso ainda eficiente da água em relação a irrigação por gotejamento superficial (LAMM et al., 1995).

A irrigação por gotejamento subsuperficial destaca-se como uma das mais altas tecnologias para melhorar a eficiência de uso da água na agricultura, muitas vezes resultando em 25-50% de economia de água em comparação à irrigação por sulcos (ALMEIDA, 2018).

O SDI é considerado o mais eficiente sistema de irrigação, podendo alcançar uma eficiência de aplicação superior a 95% (PAYERO, 2002), devido às reduzidas

perdas por evaporação e percolação profunda (PATEL; RAJPUT, 2008). Além disso, o SDI por não gera microclima diminui os problemas com doenças, reduzindo os custos com defensivos. (ELMALOGLU; DIAMANTOPOULOS, 2009).

Associado a técnica da irrigação localizada por gotejamento subsuperficial e, buscando-se o desenvolvimento de Mesmos com todas essas técnicas ainda procura-se desenvolver de manejos de irrigação que proporcionem cada vez mais uma maior racionalização do uso da água e do consumo de energia, surge a irrigação por pulsos. Essa técnica consiste na aplicação da lâmina de irrigação de forma fracionada em uma série de ciclos de irrigação on-off, onde cada evento contém uma fase de irrigação e uma de repouso (ALMEIDA et al., 2015).

A irrigação por pulso tem sido estudada para algumas culturas em diferentes regiões do mundo, como a soja no Egito (EID et al., 2013), o tomate na Arábia Saudita (ELNESR et al., 2015), alface (ALMEIDA et al., 2015), coentro (ZAMORA et al., 2019; Menezes et al., 2020) e feijão-vagem (ALMEIDA et al., 2018) no Brasil, tendo-se em todos esses estudos sido constatados aumentos de produtividade, melhoria da qualidade dos produtos, economia no uso da água e eficiência na absorção de nutrientes em comparação a irrigação aplicada de forma contínua.

Mesmo diante de resultados satisfatórios e promissores da irrigação por pulsos, há a necessidade de estudos científicos relacionados às principais culturas de importância socioeconômica para o Brasil e, especificamente para a cultura da cana-de-açúcar, resultados de pesquisas que forneçam informações da associação do gotejamento subsuperficial pulsado sobre aspectos fisiológicos e nutricionais são ainda inexistentes.

Diante do exposto e, partindo-se das hipóteses que a irrigação pulsada possibilita uma melhoria da eficiência de extração de nutrientes, um maior acúmulo e uma nutrição mineral mais equilibrada na cana-de-açúcar em relação a irrigação aplicada de forma contínua, e que os melhores resultados para as variáveis fisiológicas avaliadas são obtidos com a irrigação pulsada em detrimento da irrigação aplicada de modo contínuo, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar o efeito do uso de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento subsuperficial pulsado e contínuo sobre aspectos fisiológicos e nutricionais da cana-de-açúcar.

REVISÃO DE LITERATURA

A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma planta alógama, pertencente à família Gramineae (Poaceae), tribo Andropogoneae, gênero *Saccharum*. Dentro desse gênero existem pelo menos seis diferentes espécies, que foram cultivadas inicialmente na Ásia e na Índia, sendo introduzida no Brasil no século XX (SCHNEIDER et al., 2012).

A produção de cana-de-açúcar desempenha um papel fundamental na geração de matéria prima para as agroindústrias do açúcar, do álcool e de alguns subprodutos. O Brasil destaca-se no cenário mundial por seu grande potencial agrícola, ocupando a posição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, de açúcar, de etanol e alguns subprodutos, tais como: vinhaça e a torta de filtro utilizados como fertilizantes; o bagaço, da cana-de-açúcar, como geração de energia e alimentação para ruminantes (MAPA, 2018).

Desse percentual, 52,3% são oriundos de São Paulo, maior produtor nacional, Pernambuco ocupa a oitava posição (CONAB, 2020). Ainda de acordo com Conab (2020), a estimativa brasileira de produção para a safra 2020/2021 é de 642.069,7 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, registrando uma leve redução de 0,1% em relação à safra anterior, sendo estimada uma produção de 39.335,4 milhões de toneladas de açúcar, incremento de 32% e 27,9 bilhões de litros de etanol a partir da cana-de-açúcar, redução de 18,1% comparado a safra passada.

Devido à comprovada importância da cultura da cana-de-açúcar para a economia nacional, anualmente, os centros de pesquisa em melhoramento vegetal distribuídos pelo país vêm selecionando híbridos que apresentem resistência a pragas e doenças, elevadas produtividades, e bons indicadores de qualidade das variáveis tecnológicas, como: teor de fibra e de açúcar recuperável na cana; pureza, sólidos solúveis, açúcares redutores e percentagem de sacarose aparente no caldo (LIMA NETO et al., 2013).

As variedades de cana-de-açúcar são componentes importantes do sistema de produção, isto porque é por meio delas que é possível elevar a eficiência produtiva do setor sucroalcooleiro. A melhoria da qualidade da matéria prima para a produção

de açúcar e álcool tem relação direta com a oferta de variedades mais eficientes para determinados sistemas produtivos, e o resultado das pesquisas com melhoramento genético proporcionam ao setor canavieiro variedades adaptadas às condições específicas de produção (BATISTA, 2013).

Entre as variedades cultivadas atualmente, a RB867515 foi a mais cultivada na safra 2017/18, ocupando cerca de 26% das áreas comerciais no território nacional. Em Pernambuco essa variedade é a terceira mais plantada, ficando atrás da RB92579 e SP78-4764 que abrange cerca de 27,9% e 19% dos canaviais do estado, a RB92579 é a terceira mais plantada no Brasil (BRAGA JÚNIOR et al., 2019).

O Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar (PMGCA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), apresentou um clone promissor SILVA (2019b), a RB041443 apresentando melhores resultados em tonelada de pol por hectare (TPH), tonelada de cana por hectare (TCH), pol da cana corrigida (PCC), açúcar total recuperável (ATR) que a variedade mais cultivada em Pernambuco, RB92579 no censo varietal de cana-de-açúcar 2018/19 SILVA (2019a), e também afirma a sua resistência na ferrugem marrom, ferrugem alaranjada, no carvão e no *Meloidogyne incognita*.

Estresse Hídrico

O estresse hídrico é um termo utilizado para designar uma situação tanto pela ocorrência do déficit hídrico, quanto pelo excesso de água disponível para as plantas. A água é o recurso essencial mais restritivo para a produtividade agrícola, devido sua importância a distintos processos metabólicos, sobretudo no período inicial de desenvolvimento das culturas (FERNANDES; CAIRO e NOVAIS, 2015).

Larcher (2004) apresenta as fases características do déficit hídrico às quais um organismo vegetal pode ser submetido. De acordo com o autor, déficit hídrico inicia-se por uma fase de alarme, caracterizada pela perda de estabilidade das estruturas, como proteínas biomembranas, e de suas funções vitais, como processos bioquímicos e fotossintéticos, seguindo-se para a fase de resistência, a qual é induzida sob estresse contínuo a adquirir características de rusticidade e ajustamento. O aumento ou persistência do estresse levará à última fase, ou seja,

em sua exaustão e colapso prematuro.

De acordo com Inman-Bamber (2004) períodos de estresse hídrico causam a diminuição da área foliar, pois aceleram o processo de senescência das folhas verdes, vindo a afetar significativamente o grau de interceptação da radiação e, conseqüentemente, os processos fotossintéticos e o rendimento final da cultura (SMIT; SINGELS, 2006). A tolerância ao déficit hídrico precisa de uma regulação fina de perda de água, a fim de manter uma adequada absorção de CO₂ (COLOM; VAZZANA, 2003).

As plantas de cana-de-açúcar, sob condições de déficit hídrico, podem ser afetadas com redução das características morfológicas como a altura de plantas, o número de folhas verdes e a área foliar (PINCELLI; SILVA, 2012). Quando ocorrem drásticas reduções no crescimento da cana-de-açúcar, conseqüentemente, são afetados seu desenvolvimento e rendimento final (SILVA et al., 2012).

Além disso, a fisiologia das plantas também é afetada pela restrição hídrica, como o déficit de pressão de vapor entre as folhas e o ar (SILVA et al., 2013). O estresse hídrico pode elevar muito essa característica fisiológica e acabar influenciando na eficiência do uso da água, além de aumentar a temperatura das folhas levando a outros distúrbios fisiológicos, como a síntese de clorofila (VIEIRA et al., 2014).

Irrigação

A irrigação pode ser definida como um método artificial para aplicação da água na agricultura, no qual o objetivo principal é viabilizar os cultivos nos locais onde a falta de água restringe a atividade agrícola (BERNARDO et al., 2008). A agricultura irrigada tem sido importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, proporcionando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de emprego e renda de forma estável (MANTOVANI et al., 2009).

De acordo com Bernardo (2006), dentre as técnicas de manejo de irrigação mais utilizadas durante os cultivos destacam-se: irrigação por salvação, irrigação com deficit hídrico controlado, irrigação complementar e irrigação total.

Oliveira et al. (2016), explicam cada uma dessas técnicas durante o cultivo da cana-de-açúcar: irrigação por salvação é utilizada após o plantio da cana ou após o

seu primeiro corte, onde é feita três aplicações de água, com a finalidade de garantir a germinação ou a rebrota da planta. Irrigação com déficit hídrico controlado é adicionado apenas uma fração da água necessária para o seu desenvolvimento, também podendo ser em fases críticas da planta. A irrigação suplementar se refere ao momento em que a cultura está na sua fase crucial de necessidade hídrica e não tem água disponível no solo, então, é feito o incremento. Na irrigação total, supre-se toda a demanda de água que a cultura exige.

O fornecimento de água para as culturas pode ser feito de diversas maneiras, entretanto esta técnica não funciona isoladamente sem o auxílio de outras técnicas de manejo, tendo em vista que para se obter os rendimentos potenciais da cultura é indispensável manter a umidade adequada no solo durante todo o período de crescimento da mesma, pois o crescimento vegetativo é proporcional à água transpirada pela cultura (SILVA JÚNIOR, 2015).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (2020), em 2019, a irrigação foi a atividade que consumiu 743,62 m³/s, 66,1% da água consumida no Brasil. Com isso observa-se a necessidade de tecnologias que permitam melhor aproveitamento da água utilizada na irrigação, pois o uso de água excessivo também é prejudicial podendo ocasionar sérios danos ambientais e de desenvolvimento da própria cultura.

Diante do exposto, a irrigação localizada surge como uma técnica de irrigação capaz de permitir um melhor aproveitamento de água, evitando desperdícios, reduzindo a evapotranspiração e aumentando a produtividade das culturas. Para Mantovani et al. (2009), o sistema de irrigação localizada é um sistema recente em que água é aplicada, próximo ao sistema radicular, em pequenas intensidades e altas frequências.

Com o aumento da tecnologia e a constante busca pela a obtenção de melhores resultados com a irrigação localizada surgiu a irrigação por gotejamento subsuperficial, técnica esta capaz de promover o uso mais eficiente da água (LAMM et al., 1995), permitindo a automatização de todo o sistema e que apresenta grande potencial de uso nas áreas irrigadas com cana-de-açúcar.

Na irrigação por gotejamento subsuperficial, a água é aplicada lentamente abaixo da superfície do solo por meio de emissores enterrados. As taxas de descarga estão na mesma faixa que as de um sistema de gotejamento de superfície

(LAMM et al., 2006).

O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial é reativamente recente, sofisticado e muito eficiente, promovendo maiores produtividades com maior eficiência no uso da água (SILVA JÚNIOR, 2015). Ainda de acordo com o autor, em detrimento da aplicação de água ser diretamente no sistema radicular da cultura, com o uso de tubos de polietileno enterrado, em pequenas intensidades (1 a 20 L h⁻¹) e alta frequência, esse sistema permite que se mantenha a umidade do solo na zona radicular próxima à capacidade de campo (BERNARDO et al., 2008).

O gotejamento subsuperficial é uma variação do modo tradicional do gotejamento, no qual os tubos enterrados estão a uma profundidade de 15 a 40 cm, dependendo da cultura (SILVA JÚNIOR, 2015). O gotejamento subsuperficial, quando instalado, projetado e manejado de maneira correta pode apresentar eficiência maior que 95%.

Gornat e Nogueira (2015) avaliando o efeito da irrigação localizada convencional e subsuperficial em fruteiras tropicais constataram melhores resultados para o sistema de irrigação subsuperficial. Mesmos com todas essas técnicas que buscam o uso mais eficiente da água ainda procura-se desenvolver manejos de irrigação visando uma maior racionalização do uso da água e do consumo de energia, surgindo à irrigação por pulsos. A técnica de irrigação por pulsos ou irrigação intermitente foi estudada recentemente e consiste na prática de um curto período de irrigação, seguido por uma fase de repouso e outro período de irrigação curto, e esse ciclo se repete até que toda lâmina diária necessária seja aplicada em vários ciclos de liga/desliga (ALMEIDA et al., 2015).

A irrigação por pulsos tem sido estudada em algumas culturas em diferentes regiões do mundo. A esse respeito, Eid et al. (2013) no Egito, avaliando o rendimento da cultura da soja sob irrigação por gotejamento pulsado e cobertura plástica do solo, constataram que o maior rendimento da cultura foi obtido com a aplicação da irrigação com 8 pulsos/dia com o uso da cobertura do solo.

Elnesr et al. (2015), estudaram o tomate na Arábia Saudita e verificaram que, a aplicação intermitente melhorou o tamanho dos frutos, o grau de maturação e o teor de vitamina C. Já Almeida et al. (2015), estudando o efeito da irrigação por gotejamento pulsado e cobertura do solo nos rendimentos da cultura da alface americana observaram que a irrigação por pulsos permitiu 25% de economia de

água no tratamento sem cobertura plástica e 50% de economia de água em tratamentos com cobertura plástica, observando uma maior eficiência do uso da água.

Almeida et al. (2018) avaliando diferentes níveis de salinidade da água utilizada para a irrigação da cultura do feijão verde verificaram que a irrigação por pulsos reduziu os efeitos negativos da salinidade da água de irrigação sobre o rendimento da cultura e aumentou a eficiência do uso da água em comparação a irrigação aplicada de forma contínua.

Zamora et al. (2019), avaliando o efeito do gotejamento por pulsos sob cinco lâminas de fertirrigação na produtividade e relações hídricas da cultura do coentro, constatou ao final do experimento superioridade da aplicação por pulsos para todas as variáveis analisadas e que com a adoção da estratégia de aplicação por pulsos é possível obter uma economia de aproximadamente 40% de água na produção comercial na fase vegetativa da cultura do coentro.

Da mesma forma, Menezes et al. (2020), ao avaliar o efeito de lâminas de fertirrigação por gotejamento pulsado e contínuo sobre o estado nutricional e acúmulo de massa seca e de nutrientes pela cultura do coentro, verificou que de modo geral a fertirrigação pulsada promoveu os maiores acúmulos de massa seca e de nutrientes pela cultura.

Aspectos Fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar

A cana (*Saccharum* spp.) é uma planta que apresenta metabolismo C₄, considerada altamente eficiente na conversão de energia proveniente do sol em energia química, ou seja, é uma espécie vegetal de grande capacidade acumulativa de biomassa, inclusive pela sua elevada taxa fotossintética por unidade de área (ALBUQUERQUE, 2013).

A fotossíntese trata-se de uma reação de oxido-redução entre o CO₂ (agente oxidante) e a H₂O (agente redutor) onde os elétrons são transferidos contra um gradiente eletroquímicos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os primeiros registros sobre fotossíntese na cultura da cana-de-açúcar foi realizado por HATCH et al. (1967). Os autores observaram ainda que os ácidos de quatro carbonos, malato e aspartato eram os primeiros intermediários estáveis na

fixação de CO₂, assim as plantas C4 apresentam estruturas especializadas anatomicamente e bioquimicamente que contribuem na concentração de CO₂ nos sítios da Rubisco (VOZNESENSKAYA et al., 2004).

As plantas do tipo C4 também apresentam características de maior eficiência na abertura e no fechamento dos estômatos, em condições de algum estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Estudos mostram que o estresse hídrico severo reduz significativamente a condutância estomática, transpiração, fotossíntese líquida e a eficiência no uso da água na cultura da cana-de-açúcar, além de causar redução nos pigmentos fotossintéticos e biomassa (GONÇALVES et al., 2010; SILVA et al., 2014).

A abertura estomática é diretamente responsável pelo fluxo de vapor d'água que sai na planta, quando é reduzida, o fluxo de vapor d'água diminui proporcionalmente e mais intensamente do que a diminuição do fluxo de absorção de CO₂. Em alguns casos os estômatos tendem a fechar completamente limitando o suprimento na planta, isso acontece quando as perdas por transpiração afetam irreversivelmente o crescimento e, conseqüentemente, a sobrevivência da planta (PIMENTEL, 1998).

A condutância estomática decai rapidamente sob queda rápida da umidade do solo, pois a abertura estomática responde mais rapidamente à variação do conteúdo de água no solo do que no potencial da água na folha (SASSAKI; MACHADO, 1999). O fechamento estomático pode ocorrer dentro de uma larga faixa de potencial de água na folha, dependendo da espécie (JONES, 1992).

A transpiração das plantas é um componente do balanço de energia que determina a temperatura foliar, de acordo com fatores anatômicos das folhas (dimensões, pigmentação e massa), fatores do ambiente (radiação solar, velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar) e fatores biológicos que determinam o número e a distribuição dos estômatos (MONTEITH; UNSWORTH, 1990; LEUZINGER et al., 2010). À medida que a água se torna limitante, a transpiração é reduzida, ocorrendo o aumento da temperatura foliar pela absorção da radiação solar incidente (EMEKLI et al., 2007; GONTIA; TIWARI, 2008; WANG; GARTUNG, 2010).

Nutrição mineral da cana-de-açúcar

Os vegetais são classificados como organismos autotróficos que habitam entre dois ambientes inteiramente inorgânicos, retirando CO₂ da atmosfera e água e nutrientes minerais do solo (MARSCHNER, 1995).

Os nutrientes essenciais são absorvidos pelas plantas em quantidades específicas, necessárias para o seu desenvolvimento e podem ser divididos de acordo com a concentração relativa nos tecidos da planta em micro e macronutrientes (LIRA, 2016). Os macronutrientes nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), fazem parte de moléculas essenciais, são necessários em grandes quantidades e tem função estrutural. Os micronutrientes Boro (B), Cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibidênio (Mo) e zinco (Zn), tem função reguladora, sendo necessários em quantidades menores. Esta divisão não significa que um nutriente seja mais importante do que outro, apenas que eles são necessários em quantidades e concentrações diferentes (MALAVOLTA, 2006).

O N faz parte de vários compostos nas plantas (aminoácidos, ácidos nucléicos, entre outros), atuando como ativador de muitas enzimas, e desta forma, participa das principais reações bioquímicas nas plantas (FIGUEIREDO et al., 2008).

Franco et al. (2011), utilizando doses de N que chegaram a 120 t ha⁻¹ não observaram respostas à adubação nitrogenada na produção de biomassa da parte aérea na SP813250, quando cultivada em Pirassununga – SP. Entretanto, quando a mesma variedade foi cultivada em Jaboticabal – SP, foi observado aumento de biomassa até a dose de 80 kg ha⁻¹.

O fósforo é essencial para a divisão celular e melhoraria das atividades fotossintéticas. Também regula a síntese de açúcar e armazenamento. Ajuda no desenvolvimento da raiz, o que leva a maior absorção de nutrientes e resulta em maior número perfilhos, resultando em maior produção de cana (CHITKALA et al., 2012).

A demanda da cana-de-açúcar por K é muito alta, extraindo até 400 kg ha⁻¹ de K do solo (PANCELLI et al., 2015). O K participa de processos biofísicos e bioquímicos da planta, como abertura e fechamento estomático e promoção da turgidez celular. Também atua como ativador de mais de 40 enzimas complexas,

atua sobre no metabolismo de proteínas e de carboidratos, transporte de fotoassimilados e serve como osmoregulador (ZÖRB et al., 2014).

O K é responsável pela resistência a geadas, seca, doenças, acamamento e melhoria na qualidade industrial da cana-de-açúcar, independentemente da sua produtividade (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2005). Destaca-se, ainda, que a cana-de-açúcar apresenta elevado consumo de luxo, de modo que, mesmo absorvendo o K em elevadas quantidades, este não promove prejuízos à produtividade desta cultura (MALAVOLTA, 1980).

O cálcio (Ca) é um importante nutriente que desempenha papel fundamental na estrutura de membranas e paredes celulares (KADIR, 2004). A maior parte do Ca no tecido vegetal está localizada nas paredes celulares, resultante da grande quantidade de sítios de ligação para este elemento nestas células e ao transporte restrito de Ca no citoplasma (VITTI et al., 2006). Por estar ligado a estrutura o Ca é pouco móvel na planta.

O Mg ocupa posição central na molécula da clorofila e funciona como ativador de muitas enzimas, serve como ponte entre o ATP e compostos orgânicos, como açúcares, que serão transformados por enzimas (PIMENTEL GOMES et al., 2002).

O enxofre (S) participa, na planta, de dois grandes grupos de substâncias, as estruturais e os metabólicos (VITTI et al., 2006). Compondo numerosos compostos, como aminoácidos e proteínas, coenzimas, flavonoides, lipídeos, polissacarídeos, compostos não saturados, alcaloides, moléculas de DNA e RNA, inclusive controle hormonal para o crescimento e diferenciação celular (LUZ et al., 2010).

Avaliada a extração de nutrientes por nove variedades de cana-de-açúcar em Carpina-PE, Oliveira et al. (2010) encontraram valores médios de 179, 25, 325, 226 e 87 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: K > Ca > N > Mg > P. Para a variedade RB92579 os valores foram de 260, 25, 212, 305 e 122 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, em ordem decrescente de extração: Ca > N > K > Mg > P.

Em pesquisa com cana soca e cultivar RB92579, Salviano et al. (2017) constataram que o período de maior acúmulo de nutrientes pela cultura ocorreu entre 220 a 352 dias após a colheita e que esse período é responsável pela maior exportação de nutrientes cerca de 60 a 90% do total de nutrientes acumulados.

Avaliando o acúmulo de nutrientes de quatro variedade e em 3 ciclos (cana-

planta, primeiro e segundo rebrotamento), Silva et al. (2018) verificaram que o acúmulo médio de N, P, K, Ca, Mg e S durante os três ciclos de colheita foi, respectivamente, 396, 63, 576, 174, 141 e 144 kg ha⁻¹ e 714 g ha⁻¹ de B. Para o genótipo RB92579 os valores durante os três ciclos de colheita foram de: 285, 57, 573, 171, 141, 153 kg ha⁻¹ e 684 g ha⁻¹ de B.

No Brasil, em grande parte das áreas cultivadas com cana-de-açúcar tem ocorrido suprimento adequado dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo e Cl pelo solo, dispensando seu uso nas adubações mineral, porém, a implementação de canaviais em áreas menos férteis e plantio de variedades de alta produtividade tem ocasionado deficiência destes micronutrientes (OLIVEIRA et al., 2007).

Dentre os micronutrientes, o B é extremamente importante para a cana-de-açúcar, principalmente quando relacionado ao acúmulo de sacarose. Segundo Siqueira (2014), o efeito promissor do B no acúmulo de sacarose, pode estar relacionado à sua função na formação da parede celular e na estrutura dos vasos condutores.

Com relação ao micronutriente Cu, a sua deficiência nas culturas provoca necrose foliar, encurtamento dos entrenós, redução do perfilhamento e vigor, redução do crescimento e da produtividade, sendo também comum ocorrer a quebra dos colmos, fenômeno conhecido como droopy top (RICE et al., 2006).

O Fe faz parte na planta de cofatores enzimáticos além de ser fundamental na síntese de clorofila (SOBRAL; WEBER, 1983). Sua deficiência é causada em boa parte dos casos, pelo desequilíbrio em relação a outros micronutrientes, como por exemplo: Cu, Mn e Zn, ou então o excesso de P nos solos (ABREU et al., 2007). O primeiro sintoma visível da deficiência de Fe nas brotações é o desenvolvimento de clorose nas folhas jovens (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

O Mn é absorvido na forma de Mn²⁺ pelas raízes, mas nenhum transportador específico, com alta ou baixa afinidade, foi identificado até o momento (HALL; WILLIAMS, 2003). A forma Mn⁴⁺ não é absorvido e na forma de Mn³⁺ é desconhecido seu processo de absorção (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Na fotossíntese, o Mn é um doador de elétrons para o fotossistema II, atua também na síntese da clorofila, bem como na formação e funcionamento dos cloroplastos (MARSCHNER, 1995).

Em níveis avançados de deficiência pode ocorrer necrose longitudinal das

nervuras (ORLANDO FILHO et al., 2001). O Mn é o segundo micronutriente mais extraído do solo pela cultura da cana-de-açúcar, e a sua falta pode ocasionar problemas à cultura canavieira. Ainda segundo os autores, a sua falta resulta em caldo com maior teor de fenóis e amido, compostos que durante o processamento da cana ou estocagem do açúcar se oxidam, alterando a cor do alimento.

O Zn é um micronutriente limitante para a maioria das culturas pela sua baixa concentração no solo, pois, muitas vezes, uma parte está adsorvida às argilas, representando 30 a 60% do total, e outra parte está ligada à matéria orgânica (ARAÚJO; SILVA, 2012).

Dentre os nutrientes, o Zn tem sido o mais importante, pois sua deficiência tem sido frequentemente observada na cultura da cana-de-açúcar afetando diretamente o perfilhamento e o crescimento das plantas, dois fatores fundamentais da produtividade da cultura e ainda diminuindo a longevidade das soqueiras (MELLIS; QUAGGIO, 2015). A deficiência de zinco ocorre mais comumente em solos arenosos de pH elevado, aparecendo em folhas jovens com listras verde-claro que estão nas nervuras da folha, as folhas são também pequenas e não-simétricas (RICE et al., 2006).

O molibdênio apresenta participação importante em dois fatores do metabolismo nitrogenado, assim sendo, este elemento participa da redutase do nitrato, onde o nitrato (NO^{3-}) é reduzido a nitrito (NO^{2-}), assim como, da nitrogenase, processo pelo qual bactérias fixadoras de nitrogênio convertem o gás N_2 em NH_3 (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Segundo Wendling; Gatto (2012), o Mo atua na síntese de enzimas e na fixação do nitrogênio atmosférico.

Em experimento com duas variedades de cana-de-açúcar (RB 72454 e RB867515) LI-PING et al. (2007) constataram que a atividade da redutase do nitrato nas folhas foi maior e, conseqüentemente, maior a redução do conteúdo de NO^{3-} e assimilação de N com a aplicação de Mo. A deficiência de molibdênio no solo pode reduzir a síntese da enzima nitrogenase, com diminuição da fixação biológica do nitrogênio e, desta forma reduzindo a produtividade (MORAES et al., 2008).

Como um micronutriente essencial, o cloro (Cl) está envolvido na estabilização do sistema de divisão de água do fotosistema II e na regulação de atividades enzimáticas (FRANCO-NAVARRO et al., 2016).

Por ser encontrado na forma de Cl^- no solo o cloro é bastante móvel no solo,

mas dificilmente será encontrada sua deficiência em condições de campo, De acordo com Anderson; Bowen (1992), a deficiência de Cl^- na cana-de-açúcar provoca encurtamento e deformação nas raízes, além do aumento no número de raízes laterais. Em solos brasileiros essa deficiência é difícil de ser encontrada devido a utilização de KCl em larga escala como fonte de K (ORLANDO FILHO et al., 2001).

Em todo o território Nacional, a cultura da cana-de-açúcar apresenta consumo estimado de 3,44 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo responsável pelo consumo de cerca de 16% de todo o adubo comercializado no Brasil (ANDA, 2016).

Assim, estudos que objetivem aumentar a eficiência dos insumos para uma melhor resposta do desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, melhorando as relações nutricionais da cultura, disponibilizando os nutrientes de forma prontamente assimilável a fim de atingir sua máxima capacidade produtiva (GRANGEIRO et al., 2011; MENEZES 2018), e, conseqüentemente, incrementando a produtividade de colmos são de fundamental importância.

Para a produção de todas as diferentes espécies de plantas, que normalmente são feitas sob condições de cultivo intensivo, existe a necessidade de adequado suprimento de nutrientes desde o estágio de plântula até a colheita, haja vista que o desequilíbrio nutricional, seja por carência ou excesso de nutrientes, é um fator estressante para a planta (MENEZES, 2018). A composição química, bem como o acúmulo de nutrientes nas folhas e nos frutos são informações essenciais para determinar os requisitos nutricionais de uma planta. Posteriormente, esta informação pode auxiliar na quantificação dos nutrientes necessários para suprir as plantas por meio da fertilização (SILVA, 2018).

De acordo com Raj (1991), o conhecimento das exigências nutricionais e as respectivas concentrações de nutrientes em órgãos específicos das plantas é de primordial importância para estabelecimento do momento correto e das quantidades adequadas de fertilizantes a serem aplicadas de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura.

A diagnose foliar é um método de avaliação do estado nutricional das culturas, em que se analisam determinadas folhas em períodos definidos do ciclo da planta (MENEZES, 2018). De acordo com Malavolta (2006), esta análise deve ser feita nas folhas devido ser o órgão da planta que melhor reflete o estado nutricional das

mesmas, isto é, respondem mais às variações no suprimento dos elementos, seja pelos já existentes no solo ou pela adição de adubo.

Os valores das faixas de concentrações de macro e de micronutrientes consideradas como adequadas na folha diagnóstica da cultura da cana-de-açúcar de acordo com a Embrapa (2009) e de 18 – 25; 1,5 – 3,0; 10 – 16; 2,0 – 8,0; 1,0 – 3,0; 1,5 – 3,0, respectivamente para: N, P, K, Ca, Mg e S g kg⁻¹ e 10 – 30; 6 – 15; 40 – 250; 25 – 250; 0,05 – 0,20; 10 – 50, para os micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn mg Kg⁻¹, teores esses adequados para uma cana-de-açúcar bem nutrida.

A nutrição adequada ou equilibrada das plantas depende da quantidade e da relação entre os nutrientes e do conhecimento da dinâmica de acúmulo desses nutrientes na matéria seca ao longo do ciclo de cultivo, visto que o desequilíbrio nutricional provoca sérios prejuízos às plantas, modificando seu crescimento, seu estado reprodutivo e, conseqüentemente, sua produção (ROZANE et al., 2013).

REFERÊNCIAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 645-736, 2007.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. Uso e manejo de irrigação. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 528p.

ALMEIDA, W. F.; LIMA, L. A.; PEREIRA, G. M. Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. Engenharia Agrícola, v. 35, p. 1009-1018, 2015.

ALMEIDA, W. F.; PAZ, V. P. S.; JESUS, A. P. C.; SILVA, J. S.; GONÇALVES, K. S.; OLIVEIRA, A. S. Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, p. 476-481, 2018.

ALMEIDA, C. A. M. Padrão de umedecimento e movimento da água no solo sob uma fonte pontual de irrigação no gotejamento subsuperficial. Rio grande do Sul UFSM, 2018. 60 f. Dissertação de Mestrado.

ANA. Agência nacional de águas e saneamentos básicos (Brasil) – Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020. ANA, 2020. p. 1–118.

ANDA. Associação nacional para difusão de adubos e corretivos agrícolas (Brasil). Anuário estatístico do setor de fertilizantes: 2016. São Paulo, 2016.

ANDERSON, D. L.; BOWEN, J. E. Nutrição de cana-de-açúcar. Embrapa Gado de Leite, 40 p, 1992.

ARAÚJO, E. O.; SILVA, M. A. C. Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 7, p. 720-727, 2012.

BATISTA, L. M. T. Avaliação morfofisiológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos. Brasília: FAV/UNB, 2013. 125 p. Dissertação de Mestrado.

BERNARDO, S. Manejo da Irrigação na cana-de-açúcar. Alcoolbrás, São Paulo, n. 106, 2006. 72-80 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. 8. ed. Viçosa, MG: Universitária, 2008. 625 p.

BRAGA JÚNIOR, R. L. C.; LANDELL, M. G. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N.; THOMAZINHO JÚNIOR, J. R.; SILVA, V. H. P.; ANJOS, I. A. Censo varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil - Safra 2017/18 e na região Centro Sul – Safra 2018/19. Boletim Técnico IAC, São Paulo, 2019. p. 64.

BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; MOTOIKE, S. Y.; REIS, E. F. Manejo da irrigação e fertirrigação com nitrogênio sobre as características químicas da videira 'Niágara Rosada'. Ciência Rural, v. 41, p. 1183-1188, 2011.

CHITKALA DEVI, T.; BHARATHALAKSHMI, M.; KUMARI, M. B. G. S.; NAIDU, N. V. Effect of sources and levels of phosphorus with zinc on yield and quality of sugarcane. *Sugar Tech*, v. 14, p. 195-198, 2012.

COLOM, M. R.; VAZZANA, C. Photosynthesis and PSII functionality of droughtresistant and drought sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany*, v. 49, p. 135-144, 2003.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-açúcar SAFRA 2020/21. *Conab*, v. 7, 2020. p. 1-64.

COSTA, A. R.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; FRIZZONE, J. A. A. A cultura da abobrinha italiana (*Cucurbita pepo* L.) em ambiente protegido utilizando fertirrigação nitrogenada e potássica. *Irriga*, v. 20, p. 105-127, 2015.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. In: FERNANDES, M. S. (Org.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

EID, A. R.; BAKRY, B. A.; TAHA, M. H. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. *Agricultural Sciences*, v. 4, p. 249-261, 2013.

ELMALOGLU, S.; DIAMANTOPOULOS, E. Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line sources. *Agricultural Water*, v. 96, p. 1587-1595, 2009.

ELNESR, M. N.; ALAZBA, A. A.; ZEIN EL-ABEDEIN, A. I.; EL-ADL, M. M. Evaluating the effect of three water management techniques on tomato crop. *PLoS One*, v. 10, p. 1-17, 2015.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.Ed. Embrapa, Brasília, Br, 2009.

EMEKLI, Y.; BASTUG, R.; BUYUKTAS, D.; EMEKLI, N.Y. Evaluation of a crop water stress index for irrigation scheduling of bermudagrass. *Agricultural Water Management*, v. 90, p. 205-212, 2007.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. *Revista Ciência Rural*, v. 45, p. 29-34, 2015.

FIGUEIREDO, M. V. B.; LIRA JÚNIOR, M. A.; ARAÚJO, A. S. I.; MARTINEZ, C. R. Fatores bióticos e abióticos à fixação biológica de N₂. In: FIGUEIREDO, M.V.B.; BURITY, H. A.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. Agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura. Agrolivros, 2008. 568p.

FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; VITTI, A. C. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. *Field Crops Research*, v. 121, p. 29–41, 2011.

FRANCO-NAVARRO, J. D.; BRUMÓS, J.; ROSALES, M. A.; CUBERO-FONT, P.; TALÓN, M.; COLMENERO-FLORES, J. M. Chloride regulates leaf cell size and water relations in tobacco plants. *Journal of experimental botany*, v. 67, p. 873-891, 2016.

GONÇALVES, E.R.; FERREIRA, V.M.; SILVA, J.V.; LAURÍCIO, E.; BARBOSA, T.P.; DUARTE, W.G.; Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, v. 14, p. 378-396, 2010.

GONTIA, N.K.; TIWARI, K.N. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural Water Management*, v. 95, p. 1144-1152, 2008.

GORNAT, B.; NOGUEIRA, L.C. Avaliação da economia de água com irrigação localizada convencional e subterrânea em fruteiras tropicais, 2015. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy/p2-4.htm>>. Acesso em 30 out. 2019.

GRANGEIRO, L. C.; FREITAS, F. C. L.; NEGREIROS, M. Z.; MARROCOS, S. T. P.; LUCENA, R. R. M.; OLIVEIRA, R. A. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, p. 11-16, 2011.

HALL, J. L.; WILLIAMS, L. E. Transition metal transporters in plants. *Journal of Experimental Botany*, v. 54, p. 2601-2613, 2003.

HATCH, M. D.; SLACK, C. R.; JOHNSON, H. S. Further studies on a new pathway of photosynthetic CO₂ fixation in sugarcane and its occurrence in other plant species. *Journal Biochemical*, v. 102, p. 417-422, 1967.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field crops research*, v. 89, p. 107-122, 2004.

JONES, H. G. *Plant and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology*. 2^a Ed. University Press, 1992. 428p.

KADIR, S. A. Fruit quality at harvest of “Jonathan” apple treated with foliarly-applied calcium chloride. *Journal of plant nutrition*, v. 27, p. 1991-2006, 2005.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *Informações Agronômicas*, v. 118, p. 1-24, 2007.

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005. p. 469-490.

LAMM, F. R.; MANGES, H. L.; STONE, L. R.; KHAN, A. H.; ROGERS, D. H. Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansas. Transactions of the ASAE, v. 38, p. 441- 448, 1995.

LAMM, FREDDIE. R.; AYARS, JAMES, E.; NAKAYAMA, FRANCIS, S. Microirrigation for crop production: Design, operation, and management. Amsterdam: Elsevier Science, 2006. 642 p.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: Rima, 2004. 531 p.

LEUZINGER, S.; VOGT, R.; KÖRNER, C. Tree surface temperature in an urban environment. Agricultural and Forest Meteorology, v. 150, p.56-62, 2010.

LIMA NETO, J. F.; DUTRA FILHO, J. A.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, A. E. P.; SILVA, L. J.; FERREIRA, G. E. Avaliação agroindustrial e parâmetros genéticos de clones UFRPE de cana-de-açúcar no litoral norte de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Pernambucana, v. 18, p. 8–13, 2013.

LI-PING, W.; YANG-RUI, L.; LI-TAO, Y. Effects of molybdenum on nitrogen metabolism of sugarcane. Sugar Tech, v. 9, p. 36-42, 2007.

LIRA, R.M. Salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar. 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, 2016.

LUZ, P. H. C.; OTTO, R.; VITT, G. C.; QUINTIN, T. A.; ALTRAN, W. S.; ILKEDA, R. Otimização da aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes. Informações Agronômicas. 2010. 27 p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 252 p.

MALAVOLTA, E. Manual de Nutrição Mineral de Plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação - Princípios e Métodos. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355 p.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/canade-acucar>>. Acesso em: 27/12/2018.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2. Ed., Londres, Academic Press, 1995. 889 p.

MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A. Uso de micronutrientes em cana-de-açúcar. International Plant Nutrition Institute. Informações Agronômicas. Nº 149. Piracicaba, SP. Março, 2015.

MENEZES, S. M. Estado nutricional e acúmulo de nutrientes em coentro fertirrigado por gotejamento contínuo e pulsado. Recife: UFRPE, 2018. 82 p. Dissertação de Mestrado.

MENEZES, S. M.; SILVA, G. F. ; SILVA, M. M. ; MORAIS, J. E. F. ; SANTOS JUNIOR, J. A. ; MENEZES, D. ; ROLIM, M. M. . Continuous and pulse fertigation on dry matter production and nutrient accumulation in coriander. DYNA (MEDELLÍN), v. 87, p. 18-25, 2020.

MONTEITH, J.; UNSWORTH, M. Principles of environmental physics. Londres: Edward Arnold, 1990. 291 p.

MORAES, L .M. F.; LANA, R. M. Q.; MENDES, C.; MENDES, E.; MONTEIRO, A.; ALVES, J. F. Redistribuição de molibdênio aplicado via foliar em diferentes épocas na cultura da soja. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, p. 1496-1502, 2008.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34. p. 1343–1352, 2010.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. *Informe Agropecuário*, v. 28, p. 30-43, 2007.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S.; WALKER, A. M. Análise biométrica de cultivares de cana-de-açúcar cultivadas sob estresse hídrico no vale do submédio São Francisco. *Energia na Agricultura*, v. 31, 48-58, 2016.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. Cana-de-açúcar. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura, v. 1, p. 355-373, 2001.

PANCELLI M. A.; PRADO R. M.; FLORES R. A.; ALMEIDA H. J.; MODA L. R.; SOUZA JUNIOR J. P. Growth, yield and nutrition of sugarcane ratoons as affected by potassium in a mechanized harvesting system. *Australian Journal of Crop Science*, v. 9, p. 915, 2015.

PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono na agricultura tropical. Seropédica: EDUR, 1998.150p.

PIMENTEL-GOMES, F.; MALAVOLTA, E.; ALCARDE, J. C. Adubos e adubações. NBL Editora, 2002. 200 p.

PINCELLI, R. P.; SILVA, M. A. Alterações morfológicas foliares em cultivares de cana-de-açúcar em resposta à deficiência hídrica. *Bioscience Journal*, v. 28, p. 546-556. 2012.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. 1 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

RICE, R. W.; GILBERT, R. A.; LENTINI, R. S. Nutritional requirements for Florida sugarcane. Sugarcane Handbook, v. 2, p. 1-8. 2006.

ROZANE, D. E.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; ROMUALDO, L. M.; FRANCO, C. F. Caracterização biométrica e acúmulo de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira cultivada em solução nutritiva. Revista Ciência Agronômica, v. 44, p. 426-436, 2013.

SALVIANO, A. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Acúmulo e exportação de macronutrientes pela cana-de-açúcar irrigada no Semiárido brasileiro. Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2017.

SASSAKI, R. M.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, p. 1571-1579, 1999.

SCHNEIDER, C. F.; SCHULZ, D. G.; LIMA, P. R.; JÚNIOR, A. C. G. Formas de gestão e aplicação de resíduos de cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 7, p. 8-17, 2012.

SILVA JÚNIOR, H. M. Avaliação de duas cultivares de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação por gotejamento subsuperficial, no noroeste paulista. Botucatu: UNESP, 2015. 100 p. Tese de Doutorado.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G.; SANTOS, C. M.; SHARMA, V. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. The Journal of Agricultural Science, v. 152, p. 104-118, 2012.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; ARANTES, M. T.; BRUNELLI, M. C.; HOLANDA, L. A. Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. *Revista Caatinga*, v. 26, p. 28-35, 2013.

SILVA, M.A.; SANTOS, C.M.; VITORINO, H.S.; RHEIN, A.F.L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, v 30, supplement 1, p. 173-181, 2014.

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W. D.; Ferreira, V. M.; Oliveira, T. B. A.; Santana, M. D. B.; Galvão, E. R. Produção de colmos e acumulação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar em três ciclos de colheita. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 41, p. 141-150, 2018.

SIQUEIRA, G. F. Aplicação de boro e maturadores na pré-colheita da cana-de-açúcar em início e final de safra. Botucatu: UNESP, 2014. 139 p. Tese de Doutorado.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOBRAL, A. F.; WEBER, H. Nutrição mineral de cana-de-açúcar (micronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.). *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 103-122.

PATEL, N.; RAJPUT, T. B. S. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. *Agricultural Water Management*, v. 95, p. 1335–1349, 2008.

PAYERO, J. "Is subsurface drip irrigation right for your operations?" Crop watch new service web page, Univ. of Nebraska, Institute of Agriculture and Natural Resources Cooperative Extension, 2002.

SILVA, L.J. Clones promissores do PMGCA-RIDESA-UFRPE In: Seminário regional sobre Cana-de-açúcar, 23, 2019, Recife. Palestras. STAB: Setentrional, 2019a.

SILVA, L.J. Censo varietal e indicadores da safra 2018-2019 In: Seminário regional sobre Cana-de-açúcar, 23, 2019, Recife. Palestras. STAB: Setentrional, 2019b.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. Porto Alegre: Artmed, 5. ed., 2013. 954 p.

VIEIRA, G.H.S. et al. Indicadores morfo-fisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, v.30, supplement 1, p.65-75, 2014.

VITTI, G. C., LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

VOZNESENSKAYA, E. V.; FRANCESCHI, V. R.; EDWARDS, G. E. Light-dependent development of single cell C4 photosynthesis in cotyledons of *Borszczowia aralocaspica* (Chenopodiaceae) during transformation from storage to a photosynthetic organ. *Botany*, v. 93, p.1-11, 2004.

WANG, D.; GARTUNG, J. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, v.97, p.1.787-1.794, 2010.

WENDLING, I.; GATTO, A. Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas. Viçosa: Aprenda fácil, 2002. 149 p.

ZAMORA, V. R. O., DA SILVA, M. M., DA SILVA, G. F., SANTOS JÚNIOR, J. A., MENEZES, D., MENEZES, S. M. D. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. *Horticultura Brasileira*, v. 37, p. 22-28, 2019.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture – status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, v. 171, p. 656-669, 2014.

CAPÍTULO II

TROCAS GASOSAS DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO E CONTÍNUO

TROCAS GASOSAS DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO E CONTÍNUO

RESUMO - A má distribuição das chuvas pode limitar as trocas gasosas na cultura da cana-de-açúcar podendo a irrigação solucionar esse efeito. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do uso de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamentos subsuperficial pulsada e contínua nas trocas gasosas da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em campo na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC), no período de dezembro 2019 a dezembro de 2020. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 5, sendo estes dois tipos de aplicação da irrigação (irrigação pulsada e contínua) e cinco lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80, 100 e 120% da ETC), com 4 repetições. A cultivar de cana-de-açúcar avaliada foi a RB 041443. A aplicação dos tratamentos foi realizada nos meses de agosto, setembro e outubro períodos esses de menores índices pluviométricos, por meio de um sistema de irrigação por gotejamento de subsuperfície. Foram analisados, aos 330 dias após o plantio, no horário entre 11 e 13 h com Analisador de Gás Infravermelho (IRGA LI-6400), as seguintes variáveis: temperatura foliar (Tleaf), concentração interna de CO₂, (C_i), condutância estomática (g_s), transpiração (E), fotossíntese líquida (A), eficiência instantânea de uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), e a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i). As melhores respostas fisiológicas para a fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração foram obtidas com a aplicação das lâminas de 85,1; 80,0 e 80,5% da ETC, respectivamente. Os maiores valores para as eficiências intrínseca e instantânea do uso da água foram obtidos com a aplicação da irrigação de forma pulsada.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*, Irrigação por pulso, RB041443.

GASEOUS EXCHANGES OF SUGAR CANE UNDER PULSED AND CONTINUOUS SUBSURFICIAL DRIP IRRIGATION BLADES

ABSTRACT - The bad distribution of rains can limit gas exchange in the sugarcane crop, and irrigation can solve this effect. The objective of this work was to evaluate the effect of the use of irrigation blades applied by pulsed and continuous subsurface dripping on the gas exchange of sugarcane. The experiment was conducted in the field at Carpina Sugarcane Experimental Station (EECAC), from December 2019 to December 2020. The experimental design used was completely randomized, in a 2 x 5 factorial arrangement, with these two types of irrigation application (pulse and continuous irrigation) and five replacement blades of crop evapotranspiration (40, 60, 80, 100 and 120% of ETc), with 4 repetitions. The sugarcane cultivar evaluated was RB 041443. The treatments were applied in the months of August, September and October, periods of lower rainfall, by means of a subsurface drip irrigation system. The following variables were analyzed 330 days after planting, between 11 am and 1 pm with an Infrared Gas Analyzer (IRGA LI-6400), the following variables: leaf temperature (T_{leaf}), internal CO₂ concentration (C_i), stomatal conductance (gs), transpiration (E), net photosynthesis (A), instantaneous water use efficiency (A/E), intrinsic water use efficiency (A/g_s), and instantaneous carboxylation efficiency (A/ C_i). The best physiological responses for net photosynthesis, stomatal conductance and transpiration were obtained with the application of slides of 85.1; 80.0 and 80.5% of ETC, respectively. The highest values for the intrinsic and instantaneous water use efficiencies were obtained with the application of pulsed irrigation.

Key-words: *Saccharum officinarum*, pulse irrigation, RB041443.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial na produção de etanol e seus respectivos subprodutos (CONAB, 2021). De acordo com a United States Department of Agriculture (2021), em levantamento realizado no mês de maio estima-se que a produção de açúcar / etanol esperada é que seja semelhante à temporada anterior com 46,5% de açúcar e 53,5% de etanol.

Em Pernambuco, na safra 2020/2021, foram cultivados 220,6 mil hectares com uma produção aproximada de 12 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para todos os usos obtendo uma produtividade de próximo a 54,4 Mg ha⁻¹. (CONAB, 2021).

Godoi Neto (2018), diz que no Estado de Pernambuco, grande parte da produção ocorre em áreas costeiras. Nessas áreas, apesar dos altos índices pluviométricos anuais, à má distribuição em determinados períodos do ano proporciona a necessidade da prática da irrigação para obtenção de rendimentos satisfatórios.

Os métodos de irrigação podem ser agrupados de acordo com a forma de aplicação da água, destacando-se os métodos de irrigação por superfície, por aspersão e localizada (ANA, 2021).

Cada método de irrigação apresenta características específicas no que diz respeito à manutenção da disponibilidade hídrica para a cultura, a qual também dependerá das características edafoclimáticas de cada região. Para a cana-de-açúcar, apesar de poucos estudos realizados e áreas instaladas, a irrigação por gotejamento subsuperficial vem sendo apontado como o mais vantajoso, devido ao melhor aproveitamento de água e nutrientes, à redução da população de plantas daninhas, ao menor acúmulo de sais na superfície e a sua menor interferência nos tratamentos culturais e na colheita (GONÇALVES, 2010; LIMA et al., 2015).

Associado a técnica da irrigação por gotejamento subsuperficial no que tange o uso racional dos recursos hídricos, que são cada vez mais desejáveis devido à ocorrência frequente de crises hídricas (SILVA et al., 2019), surge a irrigação por pulso, uma técnica empregada dentro do manejo de irrigação, que proporciona melhor aproveitamento da água aplicada, reduzindo as perdas de água por

percolação e o gasto com energia (ZAMORA et al., 2019).

Menezes et al. (2020), verificaram que de modo geral a fertirrigação pulsada promoveu os maiores acúmulos de massa seca e de nutrientes pela cultura do coentro. Zamora et al. (2019), constataram uma economia de aproximadamente 40% de água na produção comercial na fase vegetativa da cultura do coentro com a aplicação por pulsos.

Restrições ambientais, tais como o déficit hídrico, podem reduzir a eficiência da conversão de luz pelas plantas, pois a água tem um papel importante no metabolismo das mesmas e sua indisponibilidade no solo causa a redução do potencial hídrico das folhas, diminuindo as trocas gasosas e afetando negativamente a assimilação de CO₂ em cloroplastos, limitando a produção de assimilados ao desenvolvimento e produção de sacarose (SILVA e COSTA, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2017).

Avaliando-se a eficiência dos sistemas de irrigação para as culturas, observa-se que em condições de menor potencial de água no solo, mesmo que em curto prazo, o fechamento parcial dos estômatos pode ser induzido, diminuindo a difusão do vapor d'água para a atmosfera e a difusão do CO₂ para dentro do mesófilo foliar (MEDINA; MACHADO; PINTO 1998; LIMA et al., 2015). Em cana-de-açúcar, a redução do fluxo difusivo de CO₂ para o mesófilo ocasiona, como consequência, a depressão da taxa fotossintética, que a depender dos mecanismos de compensação desenvolvidos por essa cultura, podem influenciar negativamente a produtividade da cultura.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do uso de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamentos subsuperficial pulsada e continua nas trocas gasosas da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com cana-de-açúcar (cana planta), em condições de campo durante o período de 12 de dezembro de 2019 a 22 de dezembro de 2020, na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC), Unidade de Pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Carpina ($7^{\circ} 51' 24.31''$ S e $35^{\circ} 14' 16.97''$ W, a 180 m de altitude), Região da Zona da Mata do Estado de Pernambuco (Figura 1).



Figura 1. Área experimental, tanque de armazenamento de água para a irrigação e casa de bomba

O clima da região de realização do experimento, de acordo com a classificação de Köppen, é As, Megatérmico Tropical (tropical úmido) (ALVARES et al., 2014). A precipitação média é de $2.417,6 \text{ mm ano}^{-1}$, com maior concentração ocorrendo entre o outono e o inverno, com média de $377,9 \text{ mm}$ no mês mais chuvoso (junho); as temperaturas máxima e mínima do ar de $29,1$ e $21,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente; a umidade relativa do ar média $79,8\%$, insolação $2550,7 \text{ horas}$. O total de evapotranspiração média estimada para a região está entre 1.000 e $1.600 \text{ mm ano}^{-1}$ (INMET, 2016; BARROS, 2016).

O solo da área experimental é caracterizado como Argissolo amarelo distrófico abrupto (Embrapa, 2013). A caracterização química e física do mesmo (Tabela 1) foi realizada em duas profundidades, $0,0-0,2$ e $0,2-0,4 \text{ m}$, por meio de duas amostras compostas (uma para cada profundidade), tendo-se as amostras compostas sido

oriundas da coleta de 20 amostras simples coletadas de forma aleatória. Todas as análises (químicas e físicas) foram realizadas conforme procedimentos metodológicos preconizados por Teixeira (2017).

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo, em diferentes profundidades, da área experimental antes da instalação do experimento, Carpina-PE, 2019.

Camada	Caracterização química												
	pH	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	SB	CTC	m	V	M.O.
m	H ₂ O	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³						%		g kg ⁻¹		
0-0,20	5,8	12,0	5,16	1,05	0,06	0,12	0,0	2,8	6,39	9,19	0,0	69,53	1,98
0,20-0,40	5,9	12,0	2,31	0,93	0,04	0,07	0,0	3,0	3,35	6,35	0,0	52,76	1,88
Camada	Caracterização física												
	Areia	Silte	Argila	Textura	Ds	Dp	θ _{CC}	θ _{PMP}					
m	%			-	g cm ⁻³		m ³ m ⁻³						
0-0,20	70,9	12,0	17,1	Franco arenoso	1,36	2,63	0,15	0,10					
0,20-0,40	71,0	9,9	19,1	Franco arenoso	1,31	2,56	0,18	0,12					

SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; m: Saturação por alumínio; V: Saturação por bases; M.O: Matéria Orgânica; Ds: Densidade do Solo; Dp: Densidade de Partículas; θ_{CC} e θ_{PMP}: Respectivamente, Umidade Volumétrica do Solo na Capacidade de Campo e no Ponto de Murcha Permanente.

Visando-se a correção da acidez do solo, foi realizado uma calagem com calcário dolomítico aplicando-se 0,5 Mg ha⁻¹, conforme metodologia proposta por Cavalcanti et al. (2008).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em arranjo fatorial (2 x 5), com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos por dois tipos de aplicação da irrigação (irrigação pulsada e contínua) e cinco lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80, 100 e 120% da ET_c). Para a condição de aplicação da irrigação por pulsos foram definidos cinco pulsos de irrigação com intervalo de 40 minutos de repouso entre irrigações.

Cada parcela experimental foi formada por quatro fileiras duplas de 7 m de comprimento, espaçadas por 1,4 m entre fileiras duplas e 0,6 m entre linhas, resultando em 56 m² por unidade experimental, no qual as quatro linhas de plantas centrais foram consideradas como a área útil da parcela onde foram feitas as avaliações desconsiderando 1 m das extremidades de cada linha, resultando assim em uma área útil de 20 m² (Figura 2).

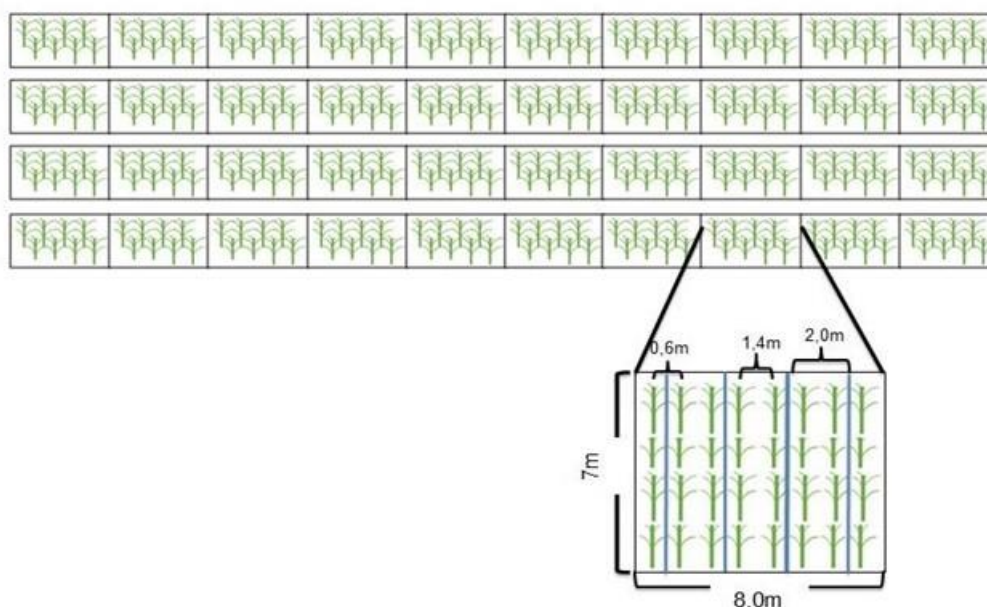


Figura 2. Croqui da área experimental do local de realização do experimento.

A cana-de-açúcar plantada foi a variedade RB041443 o qual foi desenvolvido pelo Programa de Melhoramento Genético de cana-de-açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA).

O sistema de preparo de solo empregado foi o convencional, utilizando-se herbicida para dessecação dos restos culturais, seguido de uma subsolagem para descompactação das camadas mais profundas do solo, uma gradagem pesada para aração do solo e a uma sulcagem com 25 cm de profundidade para a realização do plantio dos rebolos (Figura 3).



Figura 3. Distribuição dos rebolos de cana-de-açúcar variedade RB041443 nos sulcos de plantio

A recomendação de adubação foi baseada na análise química do solo considerando a demanda nutricional da cultura. A adubação fosfatada e potássica foi fornecida de forma convencional por ocasião do plantio (Figura 4), tendo-se a adubação fosfatada sido realizada de acordo com recomendação indicada por Simões Neto et al. (2011) e a adubação potássica realizada conforme recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (CAVALCANTI et al., 2008).

A adubação nitrogenada foi realizada conforme Cavalcanti et al. (2008), tendo-se o nutriente sido aplicado de forma parcelada, aplicando-se 50% da dose recomenda no plantio (Figura 4) e os 50% restantes foram fornecidos via fertirrigação realizada a cada quinze dias.



Figura 4. Adubação de plantio com nitrogênio, fósforo e potássio

As doses de N e K_2O foram fornecidas por meio dos fertilizantes uréia e cloreto de potássio, respectivamente, e para o fornecimento de P foi utilizado o superfosfato simples. Os demais nutrientes essenciais foram fornecidos via adubação foliar. As fontes de B, Zn, Cu, Fe e Mn foram o ácido bórico, o sulfato de zinco, o sulfato de cobre, sulfato de ferro e sulfato de manganês, respectivamente.

Os tratos culturais e o monitoramento fitossanitário durante a condução do experimento foram realizados de acordo com aqueles adotados pelos produtores da região, visando prevenir o surgimento de pragas e doenças que pudessem comprometer o desenvolvimento e, conseqüentemente, a produtividade da cultura.

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento com gotejadores autocompensantes e antidrenantes. A água foi conduzida via tubulação até o ponto inicial do sistema de irrigação, onde foi instalada uma bomba centrífuga, um sistema de filtragem e retro lavagem e um sistema de injeção de fertilizantes do tipo venturi para realização da fertirrigação e 10 registros de esfera para o controle do fluxo (Figura 5).



Figura 5. Ponto inicial do sistema de irrigação onde foram instalados uma bomba centrífuga, um sistema de filtragem e retro lavagem (Figura 5A), um sistema de injeção de fertilizantes do tipo Venturi e registros de esfera para o controle do fluxo (Figura 5B).

Nas linhas de derivação foram colocados adaptadores de início de linha que receberam as linhas laterais. As linhas laterais foram compostas por tubos gotejadores de polietileno de 16 mm, com emissores do tipo *in line* espaçados a 0,50 m e saída cilíndrica (tipo PC/AS, vazão de 1 L h⁻¹) que atenderam as parcelas

individualmente. O sistema de gotejamento foi alocado no solo a uma profundidade de 0,20 m, tornando-se do tipo subsuperficial.

Após a montagem do sistema de irrigação foi realizado um teste de uniformidade de vazão do sistema, seguindo a metodologia proposta por Keller e Karmelli (1974), no qual, as medidas de vazão foram realizadas com o auxílio de uma proveta e um cronômetro durante 180 segundos, e a pressão de serviço realizada com auxílio de manômetro de glicerina.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) obtido foi de 96,99%, tendo o mesmo sido determinado de acordo com a seguinte equação:

$$CUD = \frac{q_{1/4}}{q_{Total}} \times 100$$

Em que:

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

$q_{1/4}$ = média de $1/4$ das vazões que apresentaram os menores valores;

q_{total} = média de todas as vazões.

O tempo de irrigação de cada tratamento foi determinado considerando-se a lâmina bruta de irrigação, obtida pela relação entre a ET_c e a eficiência nominal de aplicação (95%) do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial.

A irrigação foi realizada de forma complementar no período de menor índice pluviométrico da região (Figura 6), o qual correspondeu aos meses de agosto, setembro e outubro. Durante esse período (agosto, setembro e outubro), a irrigação foi realizada diariamente de acordo com a necessidade de água pela cultura obtida com base na evapotranspiração da mesma (ET_c) e nos tratamentos avaliados, de acordo com a seguinte equação:

$$ET_c = ETo \times Kc \times Klmed$$

Em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura, $mm \text{ dia}^{-1}$;

ETo = evapotranspiração de referência, $mm \text{ dia}^{-1}$;

Kc = coeficiente de cultivo, adimensional;

$Klmed$ = coeficiente de localização médio, adimensional.

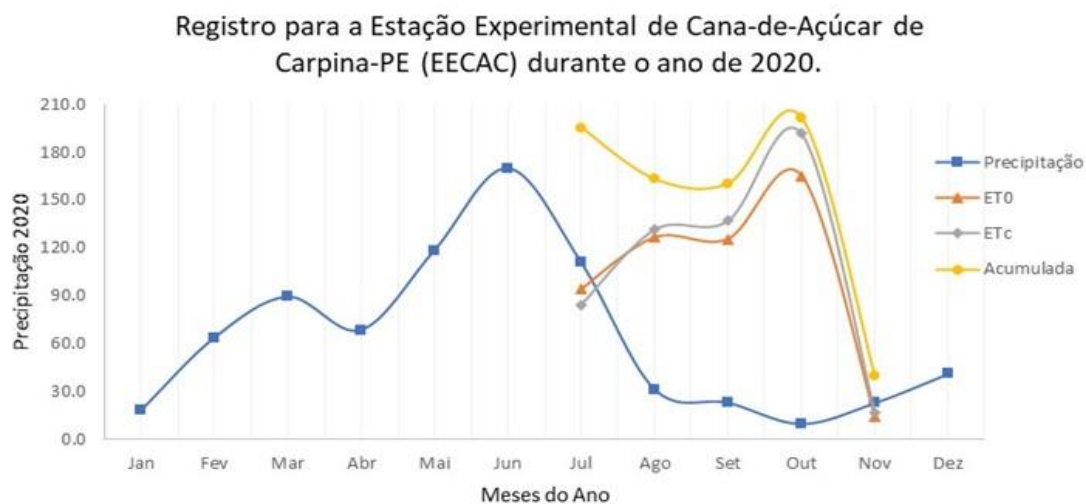


Figura 6. Precipitação, ETo, ETc e Acúmulo (Precipitação + ETc) registrada para a Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina-PE (EECAC) durante o ano de 2020.

O valor de Kp foi obtido a partir dos dados de velocidade do vento, umidade relativa do ar e evaporação do tanque classe A, o qual encontra-se instalado próximo à área experimental em um local com vegetação rasteira e com uma bordadura de 10 m, conforme metodologia proposta por Doorenbos e Pruitt (1977). Os valores de Kc que foram adotados no experimento seguiram a recomendação de Doorenbos e Kassam (1994) com base nos estádios de desenvolvimento da planta, visando-se a determinação da evapotranspiração da cultura em cada um desses estádis (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de cultura (Kc) para cana-de-açúcar nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Estádios de desenvolvimento	
Dias	Kc
1 – 61	0,40
62 – 153	0,75
154 – 244	1,10
245 – 334	1,25
335 – 360	0,70

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994)

As análises fisiológica das plantas, realizadas em 4 plantas por parcelas por meio da quantificação das trocas gasosas das mesmas aos 330 dias após o plantio (DAP), foram efetuadas por intermédio do Analisador Portátil de Gás Infravermelho (Infla-Red Gas Analyzer–IRGA) modelo LI 6400 XT (LI COR), tendo os dados sido coletados em sistema aberto com a câmara foliar ajustada para densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa mantida em $2500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e temperatura ambiente (Figura 7),



Figura 7. Analisador Portátil de Gás Infravermelho (Infla-Red Gas Analyzer–IRGA) modelo: LI 6400 XT (LI COR) utilizado para a quantificação das trocas gasosas das plantas.

As análises foram realizadas na folha +3, terceira folha da haste ou barbela da bainha visível (Figura 8) conhecida como folha TVD (Top Visible Dewlap) ou folha +3 (Kuijper) de acordo com o sistema de numeração de folhas proposto por Kuijper (DILLEWIJN, 1952), considerada a folha fisiologicamente madura e não sombreada. As leituras foram feitas entre as 10 e 13 horas, horário de brilho do sol intenso e elevada demanda evapotranspirométrica, evitando-se possíveis instabilidades causadas por variações rápidas da radiação solar.

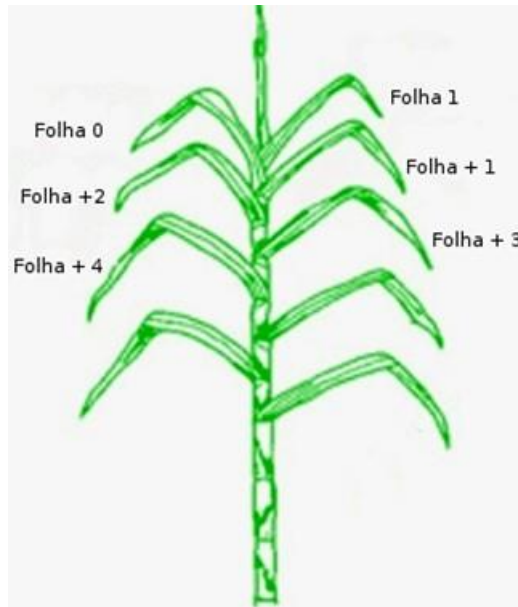


Figura 8. Esquema de numeração de folhas pelo sistema de Kuijper. Fonte Dillewijn (1952).

Foram analisadas por meio das leituras a temperatura foliar (T_{leaf}), a concentração interna de CO_2 , (C_i) $\mu\text{mol mol}^{-1}$, a condutância estomática (g_s), $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a transpiração (E), $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a fotossíntese líquida (A), $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a eficiência instantânea de uso da água (A/E), $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i), $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, homocedasticidade e à análise de variância (ANAVA) pelo teste F ($p < 0,05$) para as fontes de variação “tipos de aplicação de irrigação utilizados (irrigação por pulso e irrigação contínua)” e “lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80, 100 e 120% da ET_c)”, bem como, para suas interações, utilizando-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Quando constatado efeito significativo para o teste F, os dados relacionados às lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura foram desdobrados por meio da análise de regressão ($p < 0,05$). Já os dados relacionados aos tipos de aplicação de irrigação foram comparados mediante teste de médias de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A escolha dos modelos de regressão que melhor se ajustaram aos dados foi baseada em quatro critérios: efeito não significativo do desvio de regressão, significância dos parâmetros da equação de ajuste ($p < 0,05$), maior valor de coeficiente de determinação (R^2) e explicação biológica para cada variável em função dos tratamentos avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se, por meio da Análise de Variância (Tabela 3), que a fotossíntese líquida (A) e a transpiração (T) das plantas foram significativamente influenciadas pelas lâminas de reposição da ETC avaliadas. Já a condutância estomática foi influenciada por ambos os fatores (Tipos de aplicação e Lâminas de reposição da ETC). Por outro lado, a eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) e a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) foram influenciadas pelos tipos de aplicação da irrigação.

Tabela 3. Análise de variância das variáveis: fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E), temperatura foliar (T), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/gs), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e tipos de aplicação da irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAP.

Quadrado Médio					
FV	GL	A	Gs	Ci	E
Tipo de Apli. (T)	1	41,718 ^{ns}	0,006 ^{**}	2012,142 ^{ns}	1,329 ^{ns}
Lâminas (L)	4	67,269 [*]	0,002 [*]	4513,143 ^{ns}	3,153 [*]
T x L	4	22,916 ^{ns}	0,001 ^{ns}	248,002 ^{ns}	0,553 ^{ns}
Bloco	3	10,523 ^{ns}	0,000 ^{ns}	4531,703 ^{ns}	1,679 ^{ns}
Resíduo	27	19,001	0,000	1150,302	0,924
CV	%	25,95	23,11	45,05	23,91
FV	GL	T	A/E	A/Gs	A/Ci
Tipo de Apli. (T)	1	0,431 ^{ns}	0,003 ^{ns}	1949,374 [*]	1,354 [*]
Lâminas (L)	4	0,885 ^{ns}	0,051 ^{ns}	872,410 ^{ns}	0,254 ^{ns}
T x L	4	0,121 ^{ns}	0,012 ^{ns}	95,011 ^{ns}	0,037 ^{ns}
Bloco	3	40,220 ^{ns}	0,670 ^{ns}	1050,571 ^{ns}	0,411 ^{ns}
Resíduo	27	2,107	0,136	403,931	0,225
CV	%	3,66	9,20	10,93	102,67

^{ns}, * e ** = Respectivamente, não significativo, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade.

O maior valor de fotossíntese líquida (A) (Figura 9) constatado para as plantas de cana-de-açúcar foi de 19,48 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ obtido com a aplicação da lâmina de 85,2% ETC, incremento de 4,11% sobre a lâmina de 100% ETC. Em relação ao valor obtido com a aplicação da lâmina de 120% de ETC (15,23 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), observa-se que houve redução da ordem de 21,82% da fotossíntese líquida das plantas em comparação com o valor obtido com a aplicação da lâmina de máxima eficiência física.

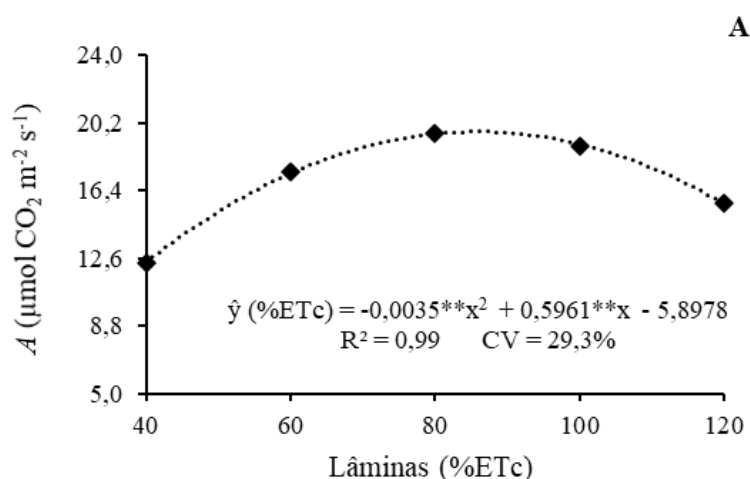


Figura 9. Fotossíntese líquida da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAP. *Significativo a 0,05 de probabilidade

O decréscimo da fotossíntese líquida das plantas com a aplicação de lâminas de irrigação superiores a 85,16% da ETC e, ainda, de maior magnitude com a aplicação de lâminas superiores a 100% da ETC pode ter relação direta com a perda por lixiviação de alguns nutrientes essenciais, a exemplo de nitrogênio e potássio, por, proporcionando desbalanço nutricional na cultura com reflexos diretos sobre as atividades metabólicas das plantas.

De acordo com Saraiva et al. (2013), o manejo da irrigação é muitas vezes comprometido também por aplicar-se lâminas de irrigação em excesso, ocasionando em uma série de fatores que inibem o crescimento da planta, podendo citar dentre esses fatores baixa disponibilidade de oxigênio no solo limitando a atividade microbiana e o crescimento radicular, além da lixiviação de nutrientes em virtude da alta velocidade de infiltração em solos arenosos (OLIVEIRA & GUALTIERI, 2017; OLIVEIRA et al., 2008).

O maior valor de fotossíntese líquida obtido neste trabalho com a aplicação da lâmina de 85,16% da ETC está condizente com aqueles encontrados por Gonçalves (2010) em plantas de cana-de-açúcar irrigadas sem limitação hídrica, os quais encontraram valores variando entre 19 e 24 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Para a fotossíntese, a água é importante na etapa fotoquímica pela liberação de prótons e elétrons, além disso, em caso de estresse hídrico, o papel principal da limitação estomática tem sido constatado ao se eliminar o obstáculo pelos estômatos, com seu fechamento. (CHAVARRIA e SANTOS, 2012; MARENCO et al., 2014).

De modo geral, as plantas quando submetidas a estresses hídricos, seja por excesso ou por escassez, adotam mecanismos conservativos, reduzindo a condutância estomática e a transpiração e aumentando a eficiência do uso da água (SOARES et al., 2012). Nessas condições, a taxa de fotossíntese também acaba sendo reduzida (FERRAZ et al., 2012; SOARES et al., 2012), tal como constatado na presente pesquisa.

De acordo com Basu et al. (2016), a alteração das vias metabólicas, a exemplo da fotossíntese, está relacionada com o fechamento dos estômatos, com reflexos nas reduções da perda de água pela transpiração, da absorção de CO_2 e de nutrientes. A esse respeito, Lima et al. (2003), afirmam que existe uma correlação direta entre g_s e A , sendo a taxa de fotossíntese reduzida de forma linear ou curvilínea à medida que ocorre o fechamento dos estômatos.

No presente estudo, a taxa fotossintética e a condutância estomática (g_s) declinaram com a aplicação de lâminas superiores a 85,16% da ETC, com magnitudes ainda maiores na lâmina superior a 100 da ETC. Esses resultados estão de acordo com aqueles constatados por Yan et al. (2002), os quais também observaram diminuição gradual da eficiência fotossintética das plantas quando submetidas a estresses hídricos (YANG et al., 2002).

Verifica-se, por meio da Figura 10, que os dados da variável condutância estomática (g_s) ajustaram-se ao modelo quadrático, tendo o maior valor obtido sido de 0,108 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ correspondente à aplicação da lâmina de 80% da ETC. Também foi observado diferença significativa da irrigação por pulso em relação a irrigação contínua, tendo a irrigação por pulso proporcionado um maior valor de

condutância estomática, com incremento de 37,5% quando comparado com a irrigação realizada de forma contínua.

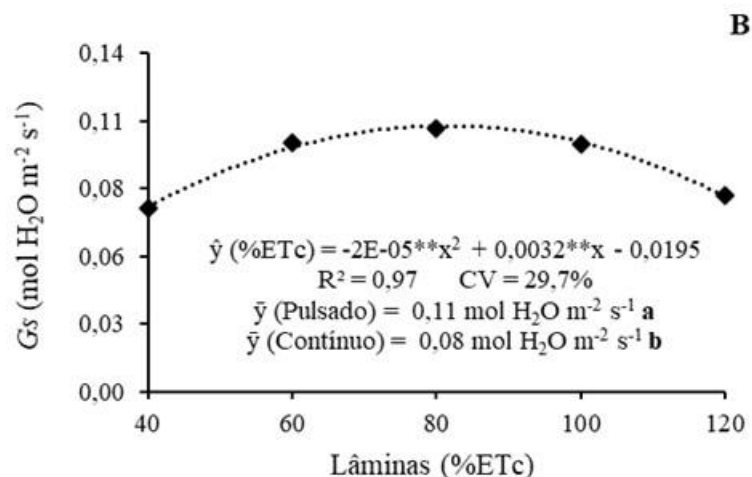


Figura 10. Condutância estomática da cana-de-açúcar, submetida a diferentes lâminas de irrigação em Carpina- PE, aos 330 DAP. *Significativo a 0,05 de probabilidade.

Alterações nas trocas gasosas das plantas em resposta a condições de estresse hídrico, acarreta em fechamento estomático, esse processo é diretamente induzido pelas condições hídricas, tanto do solo quanto das folhas (ZIVCAK et al., 2013). O fechamento estomático compromete a assimilação fotossintética do carbono, ocorrendo, portanto, uma limitação da condutância estomática, o que resulta na diminuição da concentração intracelular de CO₂ (ZIVCAK et al., 2013; SILVA et al., 2015).

Pode-se afirmar que a maior produção de fotossíntese obtida com a lâmina de 85,2% da ETC está associada a maior concentração interna de CO₂ (C_i), no momento em que as plantas estavam com maior condutância estomática (Figura 10). Neste sentido, enfatiza-se que a água e o CO₂ são fatores limitantes da fotossíntese ressaltando-se que a maior resistência difusiva dos estômatos reduz a fotossíntese, principalmente pela restrição da condução gasosa da folha, podendo o estresse hídrico causar inibição na fotossíntese devido à limitação estomática (KERBAUY, 2008), tendo em vista que em situação de baixa disponibilidade de água no solo, as plantas reduzem a perda de água para a atmosfera por meio da redução da condutância estomática.

Conforme Taiz e Zieger (2017), a condutância estomática é afetada pelo estresse hídrico, mesmo quando este apresenta-se de forma moderada, tendendo os estômatos a se fecharem logo nos estádios iniciais do estresse, acarretando em outras consequências para as plantas, como a redução da disponibilidade de CO₂ necessário para a atividade fotossintética.

Ribeiro et al. (2014), avaliando o efeito da secagem parcial da zona radicular da cana-de-açúcar sobre as trocas gasosas, crescimento e eficiência do uso da água observaram que não houve redução da fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração. Por outro lado, Barros (2015), avaliando as variáveis relacionadas às trocas gasosas em cultivares de cana-de-açúcar quando submetidas a déficit hídrico durante a fase inicial e de crescimento vegetativo, verificou que a lâmina de 125% da ETC foi a que proporcionou os menores valores de condutância estomática.

De acordo com Angelocci (2002), entre as variedades de cana-de-açúcar há uma grande variação nas e frequência dos estômatos, o que tem grande importância nas diferenças de regulações das trocas gasosas. Desta forma, as plantas podem apresentar ampla variação na condutância estomática devido à resposta precoce das alterações do ambiente (SMIT; SINGELS, 2006; BARROS, 2015).

A constatação dos maiores valores de condutância estomática para a irrigação aplicada de forma pulsada (Figura 10) deve-se, possivelmente, a manutenção de uma umidade do solo mais constante ao longo do dia neste tipo de manejo da irrigação, resultando numa maior estabilidade da solução do solo e, conseqüentemente, uma absorção de água mais equilibrada e constante com reflexos diretos sobre os maiores valores de condutância estomática em detrimento dos valores obtidos com a irrigação aplicada de forma contínua.

O efeito isolado das lâminas de irrigação sobre a transpiração (E) das plantas pode ser verificado por meio da Figura 11. O maior valor constatado para a variável (4,31 H₂O m⁻² s⁻¹) foi obtido com a aplicação da lâmina de 80,5% da ETC.

De acordo com Gonçalves et al. (2010), a cultura da cana-de-açúcar cultivada sob estresse hídrico, tanto por excesso quanto por escassez, apresenta redução na condutância estomática que promove concomitantemente redução na transpiração durante o período de estresse. A transpiração é o principal mecanismo envolvido na regulação da temperatura das folhas. Quando a transpiração é reduzida, a folha

perde a capacidade de resfriamento e aumenta sua temperatura, uma vez que continua recebendo luz. A perda de vapor de água realizada na transpiração contribui para dissipação de calor, controlando as condições térmicas da planta, que podem em altas temperaturas no ambiente ou em deficiência hídrica, causar danos irreversíveis à planta (ARAÚJO et al., 2010; VIEIRA et al., 2014; SARAIVA et al., 2014).

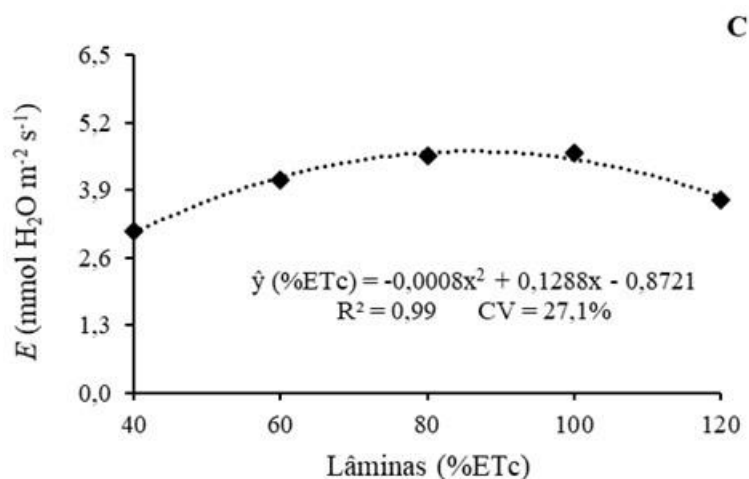


Figura 11. Transpiração da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAP. *, significativo a 0,05 de probabilidade.

De modo geral, as plantas sob estresse hídrico tendem a adotar um mecanismo de proteção, reduzindo a condutância estomática e a transpiração, e aumentando a eficiência instantânea do uso da água fazendo com que nessas condições a taxa de fotossíntese também seja reduzida (FERRAZ et al., (2012).

Na presente pesquisa, as lâminas de irrigação que proporcionaram os maiores resultados para a condutância estomática (Figura 10) e para a transpiração (Figura 11) foram praticamente iguais. Esse fato evidencia a relação direta entre a condutância estomática e a transpiração, tal como constatado por Machado et al. (2009) os quais avaliando o efeito do déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas, observaram que a redução da condutância estomática também causou uma redução da transpiração.

Silva et al. (2017), avaliando o desempenho fisiológico de cinco variedades comerciais de cana-de-açúcar, em duas épocas de avaliação, quando submetidas a

três regimes hídricos distintos (deficiência hídrica - 50% da ET₀, irrigação plena – 100% da ETC e excesso hídrico – 150% da ET₀), visando a seleção de genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico e responsivos à irrigação para cultivo nas condições edafoclimáticas da microrregião de Teresina-PI, verificaram respostas diferenciadas das variedades em relação aos tratamentos utilizados.

Os autores observaram que algumas variedades, sob condições de irrigação plena e excedente hídrico, apresentaram maiores médias para a fotossíntese, condutância estomática e transpiração. Por outro lado, outras apresentaram melhores desempenhos quando submetidas a regimes de deficiência hídrica ou, ainda, apresentaram maior sensibilidade estomática, reduzindo a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração tanto nos tratamentos de deficiência como para o de excesso hídrico. Esses resultados evidenciam a importância de estudos fisiológicos relacionados com variação de lâminas de irrigação na cana-de-açúcar, tendo em vista a cultura apresentar respostas diferenciadas a depender da variedade avaliada.

Pode-se observar, por intermédio da Figura 12, o efeito isolado dos tipos de aplicação da irrigação sobre a eficiência intrínseca do uso da água. Os valores médios encontrados para a variável foram de 176,93 e 190,89 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$, os quais foram obtidos com a aplicação da irrigação contínua e pulsada, respectivamente.

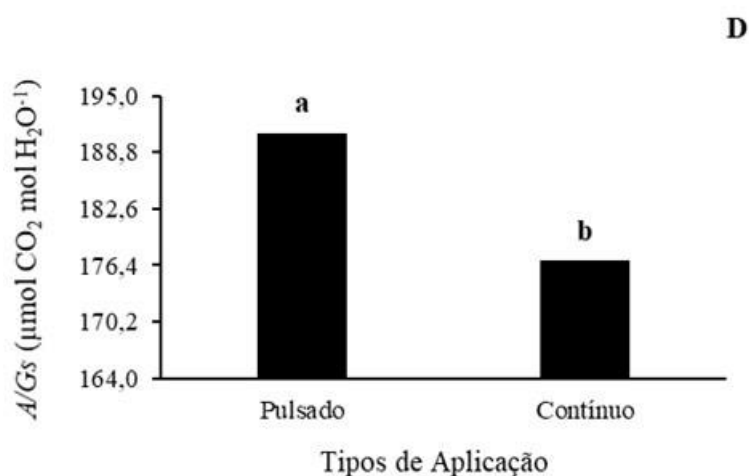


Figura 12. Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) da cana-de-açúcar em função dos tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) em Carpina - PE, aos 330 DAP. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

A menor eficiência intrínseca do uso da água constatado para a irrigação contínua evidencia que durante o processo fotossintético as plantas submetidas a esse tipo de manejo da irrigação fixaram uma menor quantidade de carbono por unidade de água transpirada em comparação às plantas submetidas a irrigação por pulso. Observa-se, também, que os valores da eficiência intrínseca do uso da água das plantas irrigadas de forma contínua (Figura 12) acompanharam os menores valores de condutância estomática verificada para esse tipo de manejo da irrigação (Figura 10).

Observa-se que o maior resultado para a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) ($0,646 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido com a aplicação da irrigação de forma pulsada (Figura 13), indicando que este tipo de aplicação da irrigação proporcionou uma maior assimilação de carbono fotossintético que associado ao aumento da condutância estomática incrementou tal valor em relação àquele obtido com irrigação aplicada de forma contínua.

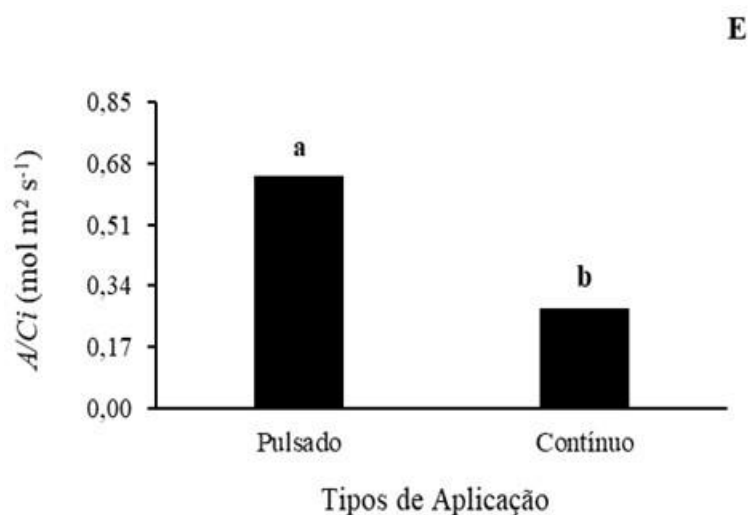


Figura 13. Eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) da cana-de-açúcar em função dos tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) em Carpina - PE, aos 330 DAP. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Esses resultados são de fundamental importância tendo em vista que o aprimoramento da assimilação de carbono fotossintético em função de estratégias de manejo da irrigação pode vir a auxiliar na melhoria do rendimento das culturas em locais onde as condições abióticas se tornem limitantes.

A eficiência de carboxilação da fotossíntese frente às lâminas de irrigação foi também avaliada por Barros (2015) em oito variedades de cana-de-açúcar, o qual constatou que os maiores valores de eficiência foram obtidos com a aplicação das lâminas de 100 ($0,021 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 125% ($0,019 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) da ETC.

CONCLUSÕES

As melhores respostas fisiológicas para a fotossíntese líquida condutância estomática e transpiração foram obtidas com a aplicação das lâminas de 85,1; 80 e 80,5% da ETC, respectivamente;

Os maiores valores para as eficiências intrínseca e instantânea do uso da água foram obtidos com a aplicação da irrigação de forma pulsada;

As lâminas e tipos de aplicação de irrigação não influenciaram na concentração interna de CO_2 , temperatura foliar, eficiência instantânea do uso da água.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, p. 711-728, 2014.

ANA. Agência nacional de águas e saneamentos básicos (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 2 ed. Brasília: ANA, 2021. p. 66.

ARAÚJO, S. A. C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E.; TORRES NETTO, A.; DEMINICIS, B. B.; LIMA, E. S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) em estresse hídrico. Acta Scientiarum, v. 32, p. 1-7, 2010.

BARROS, A. H. C. Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Árvore do conhecimento: Território Mata Sul Pernambucana - Clima. Disponível: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h68l5n4.html>. Acesso em: 03/10/2016.

BASU, S.; RAMEGOWDA, V.; KUMAR, A.; PEREIRA, A. Plant adaptation to drought stress. F1000Research, London, v. 5, 2016.

BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUSA, V. F. et al. (Eds.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. v. 1, cap. 7. p. 253-264.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-açúcar SAFRA 2021/22. Conab, v. 8, 2021. p. 1–56.

CAVALCANTI, F. L. A.; SANTOS, J. C. P.; PEREIRA, J. R.; LEITE, J. P.; SILVA, M. C. L.; FREIRE, F. J.; SILVA, D. J.; SOUSA, A. R.; MESSIAS, A. S.; FARIAS, C. M. B.; BURGOS, N.; LIMA JÚNIOR, M. A.; GOMES, R. V.; CAVALCANTI, A. C.; LIMA, J. F. W. F. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 2ª ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, 2008. 212 p.

CHARTZOULAKIS, K.; PATAKAS, A.; KOFIDIS, G.; BOSABALIDIS, A.; NASTOU, A. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars, *Scientia Horticulturae*, v. 95, p. 39-50, 2002.

CHAVARRIA, G.; SANTOS, H.P. Plant water relations: absorption, transport and control mechanisms. In: MONTANARO, G.; DICHIO, B. (org.). *Advances in selected plant physiology aspects*. Rijeka: Intech, 2012. v.1, p.105-132

DILLEWIJN, C. V. *Botany of sugarcane*. Waltham: Chronica Botanica; New York:Steichert-Hafner, 1952. 371p.

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

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. *Crop water requirements*. Rome FAO: *Irrigation and drainage paper*, 24. 1977.

EID, A. R.; BAKRY, B. A.; TAHA, M. H. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. *Agricultural Sciences*, v. 4, p. 249-261, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. *Revista Pesquisa Tropical, Goiânia*, v. 42, p.181-188, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GODOI NETO, A. H. Cana-de-açúcar irrigada com águas de diferentes níveis de salinidade e lâminas de lixiviação: respostas fisiológicas e bioquímicas. Recife: UFRPE, 2018. 131 p. Dissertação de Mestrado.

GONÇALVES, F. M. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial. Fortaleza: UFC, 2010. 64 p. Dissertação de Mestrado.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Norma Climatológica do Brasil 1961-1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>> Acesso em: 28/09/2016.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Avibook, 1990. 649 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, v. 17, p. 678-684, 1974.

KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2.ed. 2008. 431p.

LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of Eucalyptus species to elevated CO₂ concentration and drought stress. *Scientia Agricola*, v. 60, p. 231-238, 2003.

LIMA, W. S.; CALGARO, M.; COELHO, D. S.; SOUZA, M. A.; ANDRADE, J. Respostas de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes sistemas de irrigação. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, p. 11-20, 2015.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; PINTO, J. M. Fotossíntese de laranjeira 'valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. *Bragantia*, v. 57, 1998.

MARENCO, R.A.; ANTEZANA-VERA, S.A.; GOUVÊA, P.R.S.; CAMARGO, M.A.B.; OLIVEIRA, M.F.; SANTOS, J.K.S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. *Ceres*, v. 61, Suplemento, p. 786-789, 2014.

MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; RODRIGUEZ-GAMIR, J.; MARTÍNEZ-CUENCA, M. R.; IGLESIAS, D. J.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER-GINER, M. A. Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. *monstruosa*). *Trees*, New York, v. 27, p. 629-638, 2013.

MENEZES, S. M.; SILVA, G. F. ; SILVA, M. M. ; MORAIS, J. E. F. ; SANTOS JUNIOR, J. A. ; MENEZES, D. ; ROLIM, M. M. . Continuous and pulse fertigation on dry matter production and nutrient accumulation in coriander. *DYNA (MEDELLÍN)*, v. 87, p. 18-25, 2020.

OLIVEIRA, A. F.; MEDEIROS, J. F.; LIMA, C. J. G. S.; DUTRA, I.; OLIVEIRA, M. K. T. Eficiência agrônômica da fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura do meloeiro nas condições do Semiárido nordestino. *Revista Caatinga*, v. 21, p.5-11, 2008.

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Paratudo) submetidas a alagamento. *Revista Ciência Florestal*, v. 27, p. 181-191, 2017.

PRATS, G. A.; PICÓ, G. S. Adaptation of pressurized irrigation networks to new strategies of irrigation management: Energy implications of low discharge and pulsed irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam v. 169, p. 52-60, 2016.

RIBEIRO, M.S.; NETTO, A.T.; COUTO, T.R.; SILVA, J.R.; FIGUEIREDO, F.A.M.M.A.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; GLENN, D.M.; CAMPOSTRINI, E. Partial rootzone drying in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.): effects on gas exchange, growth and water use efficiency. *Trees*, New York, v. 26, p. 251-262, 2014.

SARAIVA, G. F. R.; ANDRADE, R. S.; SOUZA, G. M. Termografia por infravermelho como ferramenta de diagnóstico precoce de estresse hídrico severo em soja. *Biosfera*, v. 1, p. 158-169, 2014.

SARAIVA, K. R.; BEZERRA, F. M. L.; SOUZA, F.; CAMBOIM NETO, L. F. Aplicação do "ISAREG" no manejo da irrigação na cultura da melancia no Baixo Acaraú, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, p. 53-60, 2013.

SILVA, A. C. C.; ALMEIDA, W. F.; LIMA, L. A.; OLIVEIRA, M. C.; GUIMARÃES, A. L. Water use efficiency of different production techniques for zucchini. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 41, p. 1-10, 2019.

SILVA, A. L. C.; COSTA, W. A. J. M. Growth and Radiation Use Efficiency of Sugarcane Under Irrigated and Rain-fed Conditions in Sri Lanka. *Sugar Tech*, v. 14, p. 247-254, 2012.

SILVA, K. I.; SALES, C. R. G.; MARCHIORIA, P. E. H.; SILVEIRA, N. M.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Short-term physiological changes in roots and leaves of sugarcane varieties exposed to H₂O₂ in root medium. *Journal of Plant Physiology*, v. 177, p. 93-99, 2015.

SILVA, M. V. P.; SILVA, J. F.; SILVA, E. S. S.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MOUSINHO, F. E. P.; *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 2, 509-518, 2017.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, v. 98, p. 91-97, 2006.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, A. T.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A. Níveis críticos de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar em Pernambuco. *Revista Ceres*, v. 58, p. 802–810, 2011.

SOARES, L. A. A.; SOUSA, J. R. M.; BRITO, M. E. B.; ANDRADE, E. M. G.; SÁ, F. V. S.; SILVA, E. C. B. Influência de diferentes lâminas de irrigação nas trocas gasosas do tomateiro na fase vegetativa. *Revista Agropecuária Técnica no Semiárido*, v. 8, p. 118-122, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A.; *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 888p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 574p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Sugar Production Up Globally in 2021/22, Stable in the United States and Mexico, maio. 2021. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/z029p472x/k356b149h/th83mv036/sugar.pdf> Acesso em: 10 junho. 2021.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; DELAZARI, F. T. Indicadores morfofisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. *Bioscience Journal*, v. 30, p. 65-75, 2014.

YANG, J.; ZHANG, J.; WANG, Z.; ZHU, Q.; & LIU, L. Abscisic acid and cytokinins in the root exudates and leaves and their relationship to senescence and remobilization of carbon reserves in rice subjected to water stress during grain filling. *Planta*, v. 215, n. 4, p. 645-652, 2002.

ZAMORA, V. R. O., DA SILVA, M. M., DA SILVA, G. F., SANTOS JÚNIOR, J. A., MENEZES, D., MENEZES, S. M. D. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. *Horticultura Brasileira*, v. 37, p. 22-28, 2019.

ZIVCAK, M.; BRESTIC, M.; BALATOVA, Z.; DREVENAKOVA, P.; OLSOVSKA, K.; KALAJI, H. M.; YANG, X.; ALLAKHVERDIEV, S. I. Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. *Photosynthesis Research*, v. 117, p. 529-546, 2013.

CAPÍTULO III

EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO E CONTÍNUO

EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO E CONTÍNUO

RESUMO - Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do uso de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento subsuperficial pulsada e contínua na extração e exportação de macro e micronutrientes da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em campo na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina, no período de dezembro 2019 a dezembro de 2020. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 5, sendo estes dois tipos de aplicação da irrigação (pulsada e contínua) e cinco lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc), com 4 repetições. A cultivar de cana-de-açúcar avaliada foi a RB 041443. A aplicação dos tratamentos foi realizada nos meses de agosto, setembro e outubro períodos esses de menores índices pluviométricos na região. Por ocasião da colheita, foram coletadas 4 amostras de plantas dentro da área útil das parcelas e quantificado o acúmulo e a exportação dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn). A exportação de cada um dos nutrientes pelas plantas correspondeu ao acúmulo total de cada nutriente pelo colmo da cultura. As extrações de N e Mn e as exportações de N e Mg foram influenciadas positivamente pelo aumento das lâminas de irrigação. A irrigação contínua proporcionou maiores extrações e exportações de Fe e a irrigação por pulso a maior exportação de S e maiores extrações e exportações de Mn e Zn. As maiores extração e exportação de Ca foram obtidas com a irrigação pulsada combinada com as lâminas, respectivas para a extração e exportação, de 92,88 e 100% da ETC. A ordem decrescente de extração de nutrientes pela cultura irrigada por pulso foi: K > N > Ca > S > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu. Já para a irrigação contínua a ordem foi: K > N > S > Ca > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu. A ordem decrescente de exportação de nutrientes pela cultura irrigada por pulso foi: N > K > Ca > Mg > S > P > Fe > Zn > Mn > Cu. Quando irrigada de forma contínua seguiu a ordem: N > K > Mg > Ca > S > P > Fe > Zn > Cu > Mn.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*, Irrigação por pulso, RB041443.

EXTRACTION AND EXPORT OF NUTRIENTS BY SUGARCANE UNDER PULSED AND CONTINUOUS SUBSURFICIAL DRIP IRRIGATION BLADES

ABSTRACT - The objective of this work was to evaluate the effect of the use of irrigation blades applied by pulsed and continuous dripping on the extraction and exportation of macro and micronutrients from sugarcane. The experiment was conducted in the field at Carpina Sugarcane Experimental Station (EECAC), from December 2019 to December 2020. The experimental design used was completely randomized, in a 2 x 5 factorial arrangement, with these two types of irrigation application (pulse and continuous irrigation) and five replacement blades of crop evapotranspiration (40, 60, 80, 100 and 120% of ETc), with 4 repetitions. The sugarcane cultivar evaluated was RB 041443. The treatments were applied in August, September and October, periods of lower rainfall in the region. At harvest, 4 plant samples were collected within the useful area of each plot and the accumulation and export of nutrients nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) were quantified, sulfur (S), iron (Fe), copper (Cu), manganese (Mn) and zinc (Zn). The export of each nutrient by the plants corresponded to the total accumulation of each nutrient by the crop stalk. The extractions of N and Mn and the exports of N and Mg were positively influenced by the increase in the irrigation depths evaluated. Continuous irrigation provided higher Fe extractions and exports and pulse irrigation provided higher S exports and higher Mn and Zn extractions and exports. The highest values of extraction and export of Ca were obtained with the application of pulsed irrigation combined with the respective blades for extraction and export, of 92.88 and 100% of ETC. The decreasing order of nutrient extraction by pulse-irrigated sugarcane (plant cane) crop was: K > N > Ca > S > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu. For continuous irrigation, the order was: K > N > S > Ca > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu. The decreasing order of nutrient export by pulse-irrigated culture was: N > K > Ca > Mg > S > P > Fe > Zn > Mn > Cu. When irrigated continuously, it followed the following order: N > K > Mg > Ca > S > P > Fe > Zn > Cu > Mn.

Key-words: *Saccharum officinarum*, pulse irrigation, RB041443.

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar apresenta importância econômica para o Brasil desde o período colonial, sendo o Brasil, atualmente, o maior produtor e exportador mundial de açúcar, respondendo por aproximadamente 18% da produção e 36% do comércio global do produto. Deste percentual, mais da metade é proveniente do estado de São Paulo, maior produtor nacional. Pernambuco ocupa a nona posição, considerando a safra 2020/2021 (JADOSKI et al., 2011; CONAB, 2021).

No Brasil, a produção da safra 2020/2021 de cana-de-açúcar foi de 654,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, registrando aumento de 1,84% em relação à safra anterior, sendo destinados 45,8% para a produção de açúcar e 54,2%, para produção de etanol (CONAB, 2021).

O manejo de irrigação é fundamentado no uso racional dos recursos hídricos, bem como na redução dos gastos desnecessários com insumos agrícolas e energia, promovendo desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada. De longe, a irrigação por gotejamento é considerada o método de irrigação mais eficiente em agricultura, uma vez que a água é fornecida diretamente ao redor das raízes da planta (Goyal 2012; Singh et al. 2016).

O método de gotejamento usa um fluxo de baixa descarga de dois a vinte litros hora⁻¹ através de dutos equipados com saídas, ou seja, emissor ou gotejador (Bajpai & Kaushal, 2020). A irrigação por gotejamento leva a uma maior eficiência hídrica do que outros métodos de irrigação devido a uma menor evaporação, infiltração e percolação; portanto, o consumo de água pode ser minimizado (Yang et al. 2020).

Por sua vez, a irrigação por pulsos é uma técnica, geralmente, associada a irrigação por gotejamento, com estudos recentes e desenvolvida para dar suporte ao manejo de irrigação. Essa técnica consiste na aplicação da lâmina de irrigação diária de forma fracionada em ciclos compostos por um curto período de irrigação, seguido de uma fase de repouso e outro curto período de irrigação, repetindo-se assim até que todo o volume de água seja completamente aplicado em uma série de ciclos do tipo on-off (ALMEIDA, 2012; PRATS e PICÓ, 2016).

O conhecimento das necessidades nutricionais das plantas e as possíveis relações com as técnicas de cultivo, dentre elas a irrigação, é de fundamental importância para subsidiar estratégias de manejo da cultura. Estudos sobre o

comportamento produtivo e a quantidade de nutrientes acumulados na planta, fornece informações importantes que podem auxiliar em programas de adubação eficientes (GRANGEIRO et al., 2011).

A quantidade de nutrientes extraída por uma tonelada de cana-de-açúcar é de 1,20; 0,36; 1,48; 1,12; 0,68 e 0,36 kg de N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO e S, respectivamente (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Em 100 toneladas de colmos frescos extraem 132 kg de N, 17,4 kg de P, 133,4 kg de K, 19,0 kg de Ca, 31,3 kg de Mg, 12,2 kg de S, 0,003 kg de Fe, 0,002 kg de Mn, 0,002 kg de Mo e 0,486 kg de Zn (COELHO & VERLENGIA, 1973).

Barbosa et al. (2002), estudando o acúmulo e alocação de nutrientes na variedade RB72454, durante todo o seu ciclo, observaram que a maior taxa de acúmulo ocorreu entre os 332 e 370 dias após o plantio, quantidade de 1,42, 0,75, 1,94, 0,84 e 0,51 kg ha⁻¹ dia⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg.

Mendes et al. (2011), analisaram o acúmulo e exportação de B, Cu e Zn pela cana-de-açúcar, (variedade RB-92579), cultivada em condições semiáridas, e observaram que o acúmulo de nutrientes obedeceu a seguinte ordem decrescente: B, Zn e Cu, enquanto a exportação ocorreu na ordem: B, Cu e Zn.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do uso de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamentos subsuperficial pulsada e continua na extração e exportação de macro e de micronutrientes da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do estudo

O experimento foi conduzido com cana-de-açúcar (cana planta), em condições de campo durante o período de 12 de dezembro de 2019 a 22 de dezembro de 2020, na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC), unidade de pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Carpina (7° 51' 24.31" S e 35° 14' 16.97" W, a 180 m de altitude), Região da Zona da Mata do Estado de Pernambuco.

O clima da região de realização do experimento, de acordo com a classificação de Köppen, é As, Megatérmico Tropical (tropical úmido) (ALVARES et al., 2014). A precipitação média é de 2.417,6 mm ano⁻¹, com maior concentração ocorrendo entre o outono e o inverno, com média de 377,9 mm no mês mais chuvoso (junho); as temperaturas máxima e mínima do ar de 29,1 e 21,8 °C, respectivamente; a umidade relativa do ar média 79,8%, insolação 2550,7 horas. O total de evapotranspiração média estimada para a região está entre 1.000 e 1.600 mm ano⁻¹ (INMET, 2016; BARROS, 2016).

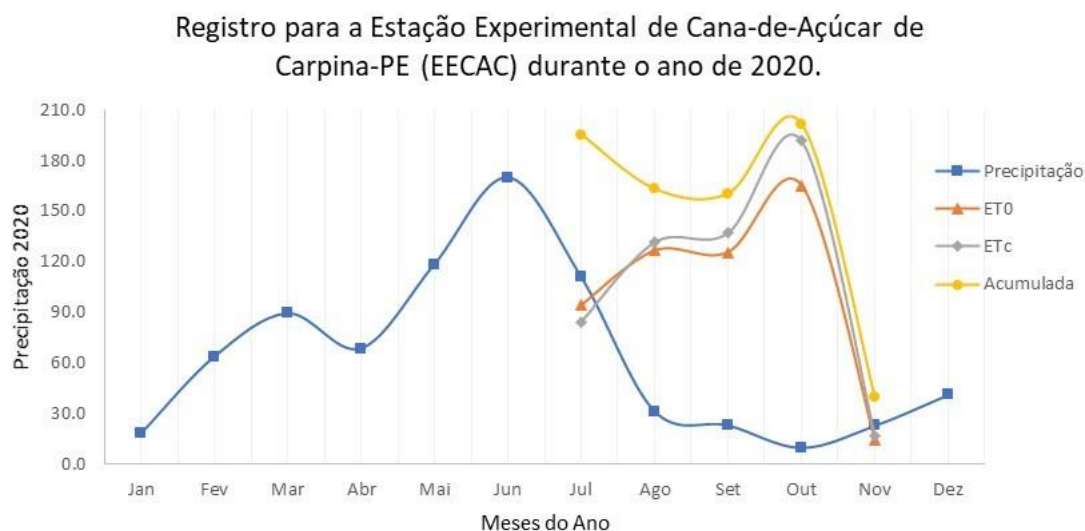


Figura 1. Precipitação, ETo, ETc e Acúmulo (Precipitação + ETc) registrada para a Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina-PE (EECAC) durante o ano de 2020.

Caracterização das unidades experimentais

A área experimental (Figura 2 A) possui uma dimensão total de 28 m x 80 m (2240 m²), sendo dividido em 40 parcelas experimentais de 7 m x 8 m (56 m²), onde as parcelas foram caracterizadas com quatro linhas duplas de 7 m de comprimento, espaçadas por 1,4 metros entre fileiras e 0,6 metros por linhas (Figura 2 B). A área de avaliação foi formada pelas quatro linhas centrais, desprezando um metro das extremidades, totalizando 20,0 m².

O experimento foi distribuído em blocos casualizados, em arranjo fatorial (2 x 5) dois métodos de irrigação (irrigação pulsada e contínua) e cinco lâminas de reposição (40, 60, 80, 100 e 120% da ET_c), com quatro repetições. Na condição dos pulsos foram definidos cinco intervalos de 40 minutos de repouso entre irrigações.

O início dos tratamentos realizou-se na fase de menor índice pluviométrico da região (agosto à outubro) considerando-se como uma irrigação suplementar, realizado irrigações diárias com o objetivo de suprir a demanda hídrica da cultura, mantendo o solo em capacidade de campo.

Para obtenção evapotranspiração de referência (ET₀) diária, foi utilizado tanque classe A que é utilizado para medir a evaporação diária e estimar o valor da ET₀ (Figura 2 C).

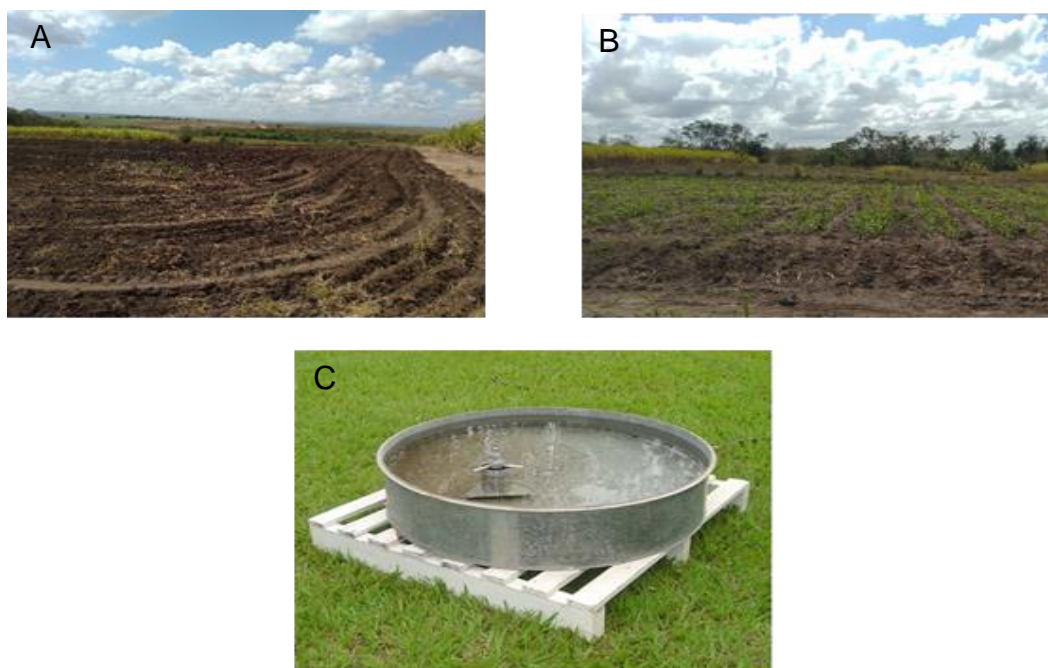


Figura 2. Vista da área experimental (A); Vista das fileiras duplas de cana-de-açúcar (B); Vista tanque classe A (C).

Características do solo

Foram realizadas coletas de solo da área experimental nas profundidades de 0,0 a 0,2 e de 0,2 a 0,4 m, para obtenção de sua caracterização química e física. Caracterizado como um Argissolo amarelo distrófico abrupto (Embrapa, 2013). As propriedades físico-químicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo, em diferentes profundidades, da área experimental antes da instalação do experimento, Carpina-PE, 2019.

Camada	Caracterização química											m	V	M.O.
	pH	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	SB	CTC				
m	H ₂ O	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%		g kg ⁻¹			
0-0,20	5,8	12,0	5,16	1,05	0,06	0,12	0,0	2,8	6,39	9,19	0,0	69,53	1,98	
0,20-0,40	5,9	12,0	2,31	0,93	0,04	0,07	0,0	3,0	3,35	6,35	0,0	52,76	1,88	

Camada	Caracterização física							
	Areia	Silte	Argila	Textura	Ds	Dp	θ _{CC}	θ _{PMP}
m	%			-	g cm ⁻³		m ³ m ⁻³	
0-0,20	70,9	12,0	17,1	Franco arenoso	1,36	2,63	0,15	0,10
0,20-0,40	71,0	9,9	19,1	Franco arenoso	1,31	2,56	0,18	0,12

SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; m: Saturação por alumínio; V: Saturação por bases; M.O: Matéria Orgânica; Ds: Densidade do Solo; Dp: Densidade de Partículas; θ_{CC} e θ_{PMP}: Respectivamente, Umidade Volumétrica do Solo na Capacidade de Campo e no Ponto de Murcha Permanente.

Visando-se a correção da acidez do solo, foi realizado uma calagem com calcário dolomítico aplicando-se 0,5 Mg ha⁻¹, conforme metodologia proposta por Cavalcanti et al. (2008).

Adubação Mineral

Após o resultado da análise de solo e seguindo a recomendação de Simões Neto et al. (2011), foi fornecido a adubação fosfatada (P) e de acordo com Cavalcante et al (2008), a adubação de potássio (K) e nitrogênio (N) (Figura 3). A aplicação da adubação nitrogenada foi realizada de forma parcelada, aplicando-se 50% da dose recomenda no plantio (Figura 4) e os 50% restantes foram fornecidos via fertirrigação a cada quinze dias.

As doses de N e K₂O foram fornecidas por meio dos fertilizantes uréia e cloreto de potássio, respectivamente, e para o fornecimento de P foi utilizado o superfosfato simples. Os demais nutrientes essenciais foram fornecidos via adubação foliar. As

fontes de B, Zn, Cu, Fe e Mn foram o ácido bórico, o sulfato de zinco, o sulfato de cobre, sulfato de ferro e sulfato de manganês, respectivamente.



Figura 3. Adubação de plantio com nitrogênio, fósforo e potássio

Plantio e condução da cultura

A cultivar de cana-de-açúcar plantada foi a RB 041443, variedade desenvolvida pelo Programa de Melhoramento Genético de cana-de-açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, integrante da Rede Interuniversitária para Desenvolvimento de Setor Sucroenergético (RIDESA).

Antes foi realizado dessecação dos restos culturais, em seguida o preparo do solo com o subsolador, a gradagem e a sulcagem para abertura dos sulcos para a realização do plantio dos rebolos. (Figura 4). Após o plantio, realizou-se tratamentos culturais e o controle fitossanitário visando o bom desenvolvimento da cultura (capinas, controle de pragas e doenças).



Figura 4. Distribuição dos rebolos de cana-de-açúcar variedade RB041443 nos sulcos de plantio.

Sistema de irrigação

Foi utilizado o gotejamento de subsuperfície, por ser um sistema localizado, de menores risco em caso de queimadas, danos causados ao sistema ao decorrer do tempo, possui uma grande uniformidade e eficiência na aplicação de água. Com o auxílio de uma tubulação de PVC, a água foi conduzida até o ponto inicial do sistema de irrigação, onde foi instalada uma motobomba, filtro, um venturi para realização da fertirrigação e 10 registros de esfera para o controle do fluxo (Figura 5).



Figura 5. Cabeçal de controle do sistema de Irrigação

Nas linhas de derivação foram colocados adaptadores de início de linha que receberam as linhas laterais. As linhas laterais foram compostas por tubos gotejadores de polietileno de 16 mm, com emissores do tipo *in line* espaçados a 0,50 m e saída cilíndrica (tipo PC/AS, vazão de 1 L h⁻¹) que atenderam as parcelas individualmente. O sistema de gotejamento foi alocado no solo a uma profundidade de 0,20 m, tornando-se do tipo subsuperficial.

Após a montagem do sistema de irrigação foi realizado um teste de uniformidade de vazão do sistema, seguindo a metodologia proposta por Keller e Karmelli (1974), no qual, as medidas de vazão foram realizadas com o auxílio de uma proveta e um cronômetro durante 180 segundos, e a pressão de serviço realizada com auxílio de manômetro de glicerina. O coeficiente de uniformidade (CUC) obtido foi igual a 96,99%, tendo o mesmo sido determinado de acordo com a seguinte equação:

$$CUD = \frac{q_{1/4}}{q_{Total}} \times 100$$

Em que:

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

$q_{1/4}$ = média de 1/4 das vazões que apresentaram os menores valores;

q_{total} = média de todas as vazões.

A obtenção do tempo de irrigação de cada tratamento foi feita considerando-se a lâmina bruta de irrigação, obtida pela relação entre a ETc e a eficiência nominal de aplicação (95%) do sistema de irrigação por gotejamento de subsuperfície.

$$ETc = ETo \times Kc \times Klmed$$

Em que:

ETc = evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

ETo = evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

Kc = coeficiente de cultivo, adimensional;

Klmed = coeficiente de localização médio, adimensional

Os valor de Kp foi obtido a partir dos dados de velocidade do vento, umidade relativa do ar e evaporação do tanque classe A, o qual encontra-se instalado próximo à área experimental em um local com vegetação rasteira e com uma bordadura de 10 m, conforme metodologia proposta por Doorenbos e Pruitt (1977). Os valores de Kc que foram adotados no experimento seguiram a recomendação de Doorenbos e Kassam (1994) com base nos estádios de desenvolvimento da planta, visando-se a determinação da evapotranspiração da cultura em cada um desses estádis (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de cultura (Kc) para cana-de-açúcar nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura

Estádios de desenvolvimento	
Dias	Kc
1 – 61	0,40
62 – 153	0,75
154 – 244	1,10
245 – 334	1,25
335 – 360	0,70

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994).

Extração e Exportação de Nutrientes

Por ocasião da colheita, foram coletadas 4 amostras de plantas dentro da área útil de cada parcela, sendo as mesmas separadas em colmo, ponteiro e folhas, onde o ponteiro foi constituído pelo cartucho e pela folha +1 (primeiro colarinho visível). Foram descartadas todas as folhas secas (folhas + bainhas) e considerou-se apenas as folhas verdes contada a partir da folha +1 (folhas + bainhas), que correspondeu àquelas totalmente expandidas com um percentual de no mínimo 20% de área verde. Após a retirada do ponteiro e das folhas, o restante foi considerado colmo conforme Oliveira et al. (2010).

Os ponteiros, folhas e colmos, após separados, foram pesados, quantificando-se a massa de matéria fresca. Posteriormente, as amostras foram trituradas em forrageira industrial, no qual, o ponteiro e as folhas foram misturados formando uma

única amostra e, sendo em seguida, coletas subamostras úmidas de colmos e ponteiro + folhas. Posteriormente, as subamostras úmidas foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçado e à temperatura de 65°C até obtenção de peso constante para aquisição das respectivas massas secas.

Após a obtenção da massa seca dos colmos e ponteiros + folhas, as amostras foram processadas em moinho do tipo Willey (Figura 6) e a partir destas, foi quantificado o acúmulo dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn).



Figura 6: Processamento das amostras (colmos e ponteiro + folhas) da cana-de-açúcar em moinho tipo Willey

A extração de N foi feita por meio de digestão aberta usando como fonte de calor o bloco digestor e mistura de ácido sulfúrico (H_2SO_4), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e mistura digestora a para digestão da matéria seca. Os nutrientes P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn e Zn foram digeridos por intermédio de digestão realizada em sistema fechado usando forno micro-ondas como fonte de calor e ácido nítrico (HNO_3) concentrado para a digestão da matéria seca, de acordo com procedimentos metodológicos propostos por Silva (2009).

A determinação do N_{total} foi realizada pelo método do destilador de Kjeldahl. Os teores de potássio foram determinados pela técnica de fotometria de chama. O teor de P foi determinado pelo método Colorimétrico do Molibdato-Vanadato e o teor enxofre pelo método turbidimétrico do sulfato de bário, ambos em espectrofotômetro UV/VIS. Os teores de Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn foram determinados por

espectrofotometria de absorção atômica. Todas as análises foram realizadas de acordo com metodologia de Bezerra Neto e Barreto (2011).

Os resultados das análises químicas em cada uma das partes forneceram as concentrações dos nutrientes e para a quantificação do acúmulo destes em cada uma dessas partes, foi multiplicado a concentração encontrada pela massa seca das partes (colmos, ponteiros e folhas). Por sua vez, o acúmulo total foi quantificado por meio do somatório do acúmulo em todas as partes da planta (colmos, ponteiros e folhas). A exportação de cada um dos nutrientes pelas plantas correspondeu ao acúmulo total de cada nutriente pelo colmo da cultura.

Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, homoscedasticidade e à análise de variância (ANAVA) pelo teste F ($p < 0,05$) para as fontes de variação “tipos de aplicação de irrigação utilizados (irrigação por pulso e irrigação contínua)” e “lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc)”, bem como, para suas interações, utilizando-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Quando constatado efeito significativo para o teste F, os dados relacionados às lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura foram desdobrados por meio da análise de regressão ($p < 0,05$). Já os dados relacionados aos tipos de aplicação de irrigação foram comparados mediante teste de médias de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A escolha dos modelos de regressão que melhor se ajustaram aos dados foi baseada em quatro critérios: efeito não significativo do desvio de regressão, significância dos parâmetros da equação de ajuste ($p < 0,05$), maior valor de coeficiente de determinação (R^2) e explicação biológica para cada variável em função dos tratamentos avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Extração

Verifica-se, por meio da análise de variância (Tabela 3), que a extração do macronutriente cálcio (Ca) foi significativamente influenciada pela interação entre os

fatores (tipos de aplicação da irrigação versus lâminas de irrigação). Os diferentes tipos de aplicação das lâminas de irrigação influenciaram as extrações de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Já para as extrações de nitrogênio (N) e de manganês (Mn) foram constatadas respostas significativas em detrimento das lâminas de irrigação aplicadas.

Tabela 3. Análise de variância para a extração total (parte aérea + colmo) de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e de micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn) em cana-de-açúcar RB 041443, em função dos tipos de aplicação de irrigação e de lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (ETc), Carpina – PE.

FV	GL	Quadrado Médio					
		Macronutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tipo de Apli. (T)	1	0,055 ^{ns}	2,965 ^{ns}	620,550 ^{ns}	499,424 ^{**}	29,739 ^{ns}	13,865 ^{ns}
Lâminas (L)	4	999,763 ^{**}	27,676 ^{ns}	93,435 ^{ns}	338,285 ^{**}	30,324 ^{ns}	31,317 ^{ns}
T x L	4	20,237 ^{ns}	1,573 ^{ns}	2,0123 ^{ns}	57,966 ^{**}	3,574 ^{ns}	2,295 ^{ns}
Bloco	3	64,803 ^{ns}	5,075 ^{ns}	309,718 ^{ns}	8,360 ^{ns}	3,311 ^{ns}	2,475 ^{ns}
Resíduo	27	165,999	14,008	417,686	13,431	25,389	13,645
CV	%	12,04	14,71	15,09	8,05	12,8	8,64
FV	GL	Micronutrientes					
		Fe	Mn	Cu	Zn		
Tipo de Apli. (T)	1	24,180 [*]	0,043 ^{**}	0,000 ^{ns}	0,151 [*]		
Lâminas (L)	4	3,002 ^{ns}	0,010 ^{**}	0,001 ^{ns}	0,047 ^{ns}		
T x L	4	9,384 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,021 ^{ns}		
Bloco	3	2,521 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,093 ^{ns}		
Resíduo	27	4,054	0,002	0,002	0,027		
CV	%	27,67	23,22	28,05	21,08		

^{ns} não significativo; ^{**} e ^{*}: significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente.

Observa-se, por intermédio da Figura 7, que a máxima extração de N estimado para a cultura da cana-de-açúcar foi de 115,97 kg ha⁻¹ obtida com a aplicação da lâmina de 100,9%, revelando incremento 2,22% sobre a lâmina de 120% da ETc (113,45 kg ha⁻¹).

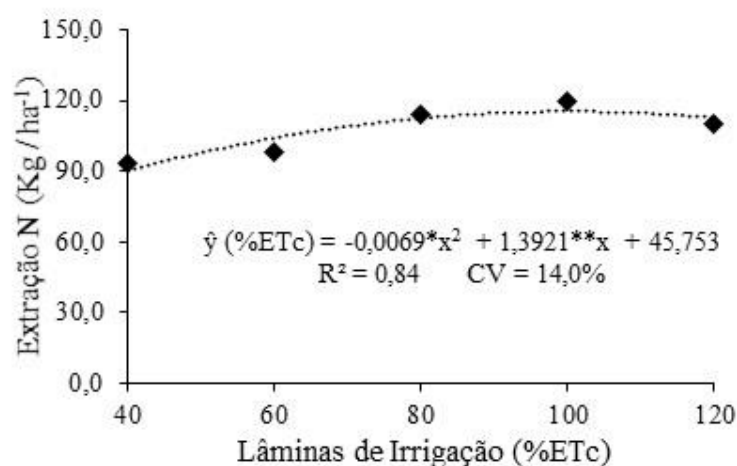


Figura 7. Extração total (parte aérea + colmo) de nitrogênio (N) pela cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação em Carpina - PE. * e **, respectivamente, significativo a 0,05 e a 0,01 de probabilidade.

Este resultado encontra-se na faixa de extração apresentada por Oliveira et al. (2010), os quais avaliaram a extração e a exportação de macronutrientes em onze variedades de cana-de-açúcar sob irrigação plena, e constataram extrações de nitrogênio variando de 94,3 a 260 kg ha⁻¹ de N, quando as variedades foram manejadas sob condição de irrigação plena. Por outro lado, sob condições de sequeiro, Oliveira et al. (2016), constataram para as mesmas onze variedades extrações do nutriente variando de 80 a 193 kg ha⁻¹, evidenciando, desta forma, a importância da irrigação correta para uma melhor absorção deste nutriente.

Com o intuito de determinar a curva de absorção de nutrientes de três variedades de cana-de-açúcar (CC 93-7711, CC 93-7510 e RD 75-11), Chavarro et al. (2018) observaram que a faixa de extração de nitrogênio pelas cultivares avaliadas variou de 230,3 a 279,2 kg ha⁻¹. Essa maior amplitude da faixa de extração do nutriente em relação ao valor encontrado com a variedade de cana-de-açúcar da presente pesquisa demonstra a relevância de estudos relacionados a extração e exportação de nutrientes para diferentes cultivares de cana-de-açúcar, principalmente quando cultivadas sob condições irrigadas.

A extração máxima de Ca, foi estimada com a aplicação de irrigação pulsada, foi de 56,89 kg ha⁻¹ na lâmina correspondente a 92,88% da ETc (Figura 8), refletindo-se em um incremento de 0,70% sobre a lâmina de 100% da ETc. Já a aplicação de irrigação contínua proporcionou uma extração máxima de Ca estimada

de 45,48 kg ha⁻¹ na lâmina correspondente a 104% da ETc.

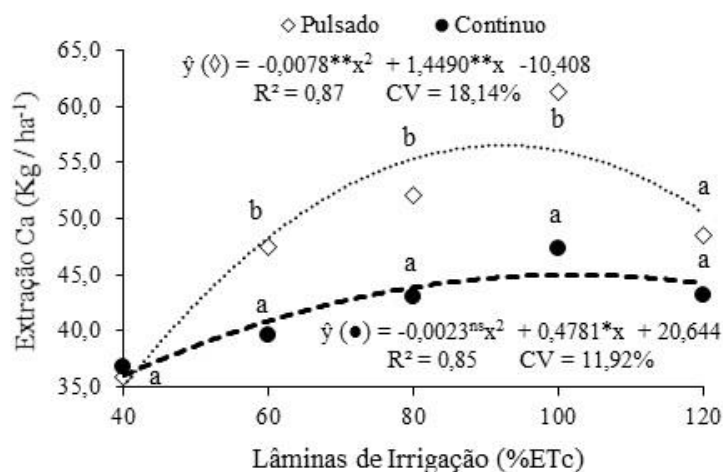


Figura 8. Desdobramento da interação entre os fatores para extração total (parte aérea + colmo) de (Ca) na cultura da cana-de-açúcar, submetido a diferentes lâminas de irrigação e tipos de aplicação de irrigação (contínuo e pulsado), Carpina-PE. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). **, significativo a 0,01 de probabilidade.

Os maiores valores de extração total de Ca constatados com a utilização da irrigação pulsada devem-se, possivelmente, a manutenção de uma umidade do solo mais constante ao longo do dia neste tipo de manejo da irrigação, que associado a baixa mobilidade do nutriente no solo (Malavolta et al. 1997), favoreceu a uma maior solubilização deste e, conseqüentemente, uma maior disponibilidade na solução do solo com reflexos na maior extração do nutriente.

O Ca é o segundo macronutriente mais extraído pela cultura da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2010). A esse respeito, Oliveira et al. (2011) avaliaram o acúmulo e a alocação de nutrientes em onze variedades de cana-de-açúcar e observaram que algumas variedades apresentaram maiores extrações do nutriente tal como a variedade RB92579 que extraiu 305,5 kg ha⁻¹ de Ca, e outras extraíram o nutriente em menores proporções, a exemplo da variedade RB72454 que extraiu 185,9 kg ha⁻¹ Ca.

Da mesma forma, Chavarro et al. (2018) verificaram em seus estudos extrações que variaram, em função da cultivar avaliada, de 58,1 a 84,9 kg ha⁻¹.

Outros autores também estabeleceram valores de referência para a extração de Ca pela cana-de-açúcar, tais como, Quintero (1999), Bertsch (2003), Oliveira et al. (2003) e Velasco (2014), que relataram valores variando de 38-103 kg ha⁻¹ Ca; Mendes (2006), com 138 kg ha⁻¹ e Oliveira (2008), que obteve, estudando dez variedades de cana-de-açúcar, uma absorção mínima de 142 kg ha⁻¹ e máxima de 273 kg ha⁻¹.

Para a extração total de ferro (Figura 9), verifica-se que a irrigação aplicada de forma contínua foi a que proporcionou a maior extração do nutriente (8,05 Kg ha⁻¹), refletindo-se em incremento de 23,85% em relação ao teor (6,50 Kg ha⁻¹) obtido com a aplicação pulsada.

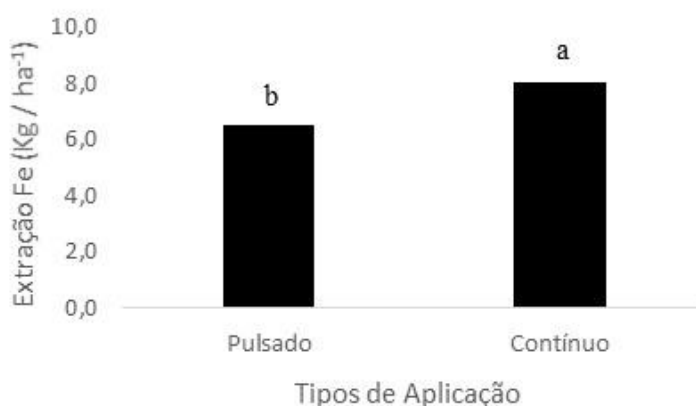


Figura 9. Extração total (parte aérea + colmo) de ferro (Fe) pela cultura da cana-de-açúcar em função dos tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) em Carpina - PE. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Silva et al. (2018), estudando quatro variedades de cana-de-açúcar, durante o ciclo de cana planta, primeira e segunda rebrota, encontraram uma extração média de Fe da ordem de 4,204, 3,434, 3,143 kg ha⁻¹, respectivamente. Já Tasso Júnior et al. (2007) estudando cinco variedades de cana-de-açúcar, constataram valores variando de 2,7 a 4,3 kg ha⁻¹ de Fe.

Em solos tropicais bem drenados, tal como o solo de realização da presente pesquisa, a concentração de Fe em solução e no complexo de troca são muito baixas (LINDSAY; COX, 1985). Diante disso, é possível, que a irrigação aplicada de forma contínua com a água toda disponibilizada de uma única vez tenha

proporcionado uma melhor solubilização do Fe e, conseqüentemente, uma maior extração pelas plantas em relação a extração obtida com a irrigação aplicada de forma pulsada.

O modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados de extração total de manganês (Mn) foi quadrático (Figura 10), tendo o valor máximo de extração sido de 0,224 kg ha⁻¹ o qual foi obtido com a lâmina de 95% da ETc. Quanto ao efeito dos tipos de aplicação de irrigação, observa-se, que a maior extração do nutriente foi obtida com a aplicação da irrigação pulsada, tendo-se verificado um incremento de 41,77% em relação a aplicação contínua.

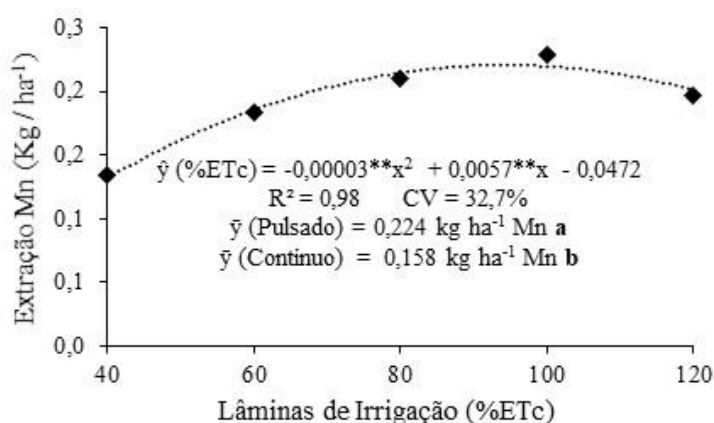


Figura 10. Extração total (parte aérea + colmo) de manganês (Mn) pela cultura da cana-de-açúcar, submetida a diferentes lâminas de irrigação em Carpina- PE. * e **, respectivamente, significativo a 0,05 e a 0,01 de probabilidade. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Silva et al. (2018), avaliando o acúmulo de Mn na parte aérea de quatro variedades de cana-de-açúcar, obtiveram um acúmulo médio de 639 g ha⁻¹ superando os resultados do presente estudo.

Verifica-se, por meio da Figura 11, que a irrigação por pulso proporcionou a maior extração total de zinco (Zn) pela cultura da cana-de-açúcar (0,84 kg ha⁻¹) em relação a extração observada para a irrigação aplicada de forma contínua (0,71 Kg ha⁻¹).

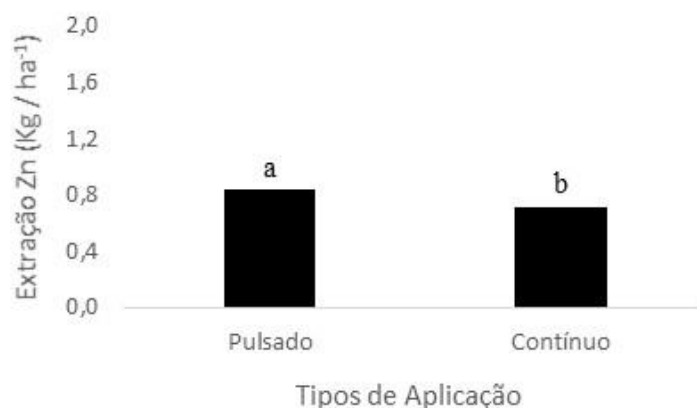


Figura 11. Extração total (parte aérea + colmo) de zinco (Zn) pela cultura da cana-de-açúcar em função dos tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) em Carpina - PE. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Silva et al. (2018) em um estudo realizado com quatro variedades de cana-de-açúcar (VAT90212, SP813250, RB867515, RB92579), encontraram valores de extração de 313, 335, 387, 345 g ha⁻¹, respectivamente.

Apesar de ter trabalhado com outra cultura, Menezes et al. (2020) ao avaliarem o estado nutricional da cultura do coentro fertirrigado por gotejamento pulsado e contínuo, também constataram que o maior acúmulo de Mn foi obtido com a utilização da irrigação aplicada de forma pulsada.

Exportação

Por meio da análise de variância (Tabela 4) pode-se observar que a exportação de cálcio (Ca) foi significativamente influenciada pela interação entre os fatores (tipos de aplicação de irrigação versus lâminas de irrigação). As exportações dos macronutrientes nitrogênio (N) e magnésio (Mg) sofreram efeitos significativos do fator isolado lâminas de irrigação. Já as exportações de enxofre (S), ferro (Fe) e manganês (Mn) foram significativamente afetadas pelos tipos de aplicação da irrigação e a exportação de zinco (Zn) por ambos os fatores isolados.

Tabela 4. Análise de variância para a exportação de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e de micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn) em cana-de-açúcar RB 041443, em função dos tipos de aplicação de irrigação e de lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (ETc), Carpina – PE.

FV	GL	Quadrado Médio					
		Macronutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Tipo de Apli. (T)	1	33,874 ^{ns}	2,025 ^{ns}	92,994 ^{ns}	133,444 ^{**}	0,001 ^{ns}	50,019 [*]
Lâminas (L)	4	851,640 ^{**}	23,339 ^{ns}	9,660 ^{ns}	195,653 ^{**}	39,902 [*]	11,022 ^{ns}
T x L	4	19,690 ^{ns}	1,611 ^{ns}	0,587 ^{ns}	25,238 [*]	1,834 ^{ns}	1,022 ^{ns}
Bloco	3	8,283 ^{ns}	7,100 ^{ns}	313,397 ^{ns}	12,999 ^{ns}	2,333 ^{ns}	4,395 ^{ns}
Resíduo	27	142,73	11,339	260,493	7,89	12,563	5,708
CV	%	13,83	15,91	19,27	10,07	12,4	9,04

FV	GL	Micronutrientes			
		Fe	Mn	Cu	Zn
Tipo de Apli. (T)	1	18,401 [*]	0,025 ^{**}	0,000 ^{ns}	0,009 ^{**}
Lâminas (L)	4	5,537 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,002 [*]
T x L	4	6,664 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,003 ^{ns}
Bloco	3	2,451 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,000 ^{ns}
Resíduo	27	3,914	0,002	0,001	0,001
CV	%	26,83	33,77	28,19	17,92

^{ns} não significativo; ^{**} e ^{*}: significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente.

A máxima exportação de nitrogênio pela cultura da cana-de-açúcar (93,64 kg ha⁻¹) foi obtida com a aplicação da lâmina de irrigação de 108,28% (Figura 12).

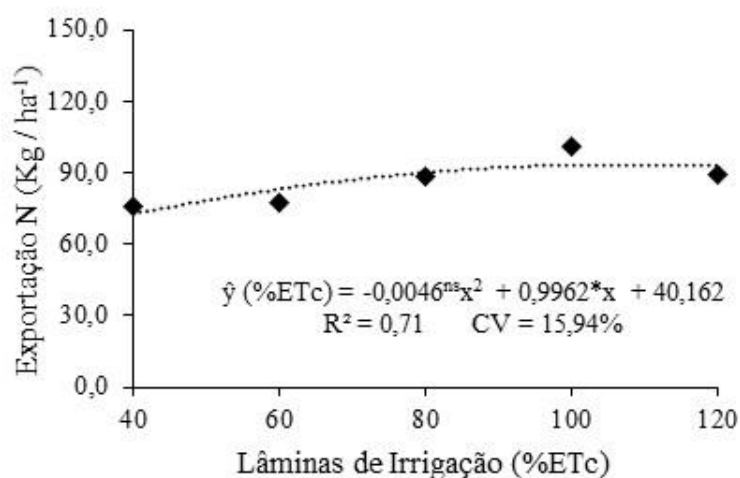


Figura 12. Exportação de nitrogênio (N) pela cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação em Carpina - PE. ^{ns} e ^{*}, respectivamente, não significativo e significativo a 0,05 de probabilidade.

Estudando diferentes variedades de cana-de-açúcar sob irrigação plena Oliveira (2008), constatou que a cultura exportou em média 100,72 kg ha⁻¹ de N. Já Coleti et al. (2006) estudando a cultivar SP 81-3250 observaram um acúmulo de N no colmo de 185 kg ha⁻¹ e Oliveira et al. (2010) com a RB 867515, 135 kg ha⁻¹ de N, valores superiores aos encontrados no presente estudo, devido à irrigação do presente estudo ter sido feita de forma complementar diferenciando dos demais trabalho os quais os autores utilizaram irrigação plena.

O efeito da interação entre os tipos de aplicação de irrigação e as lâminas de reposição da ETc sobre a exportação de cálcio (Ca) pode ser verificado na Figura 13. Verifica-se, por meio da análise do desdobramento do fator lâminas de reposição da ETc dentro do fator tipos de aplicação de irrigação, que houve diferença significativa para ambos os tipos de aplicação de irrigação.

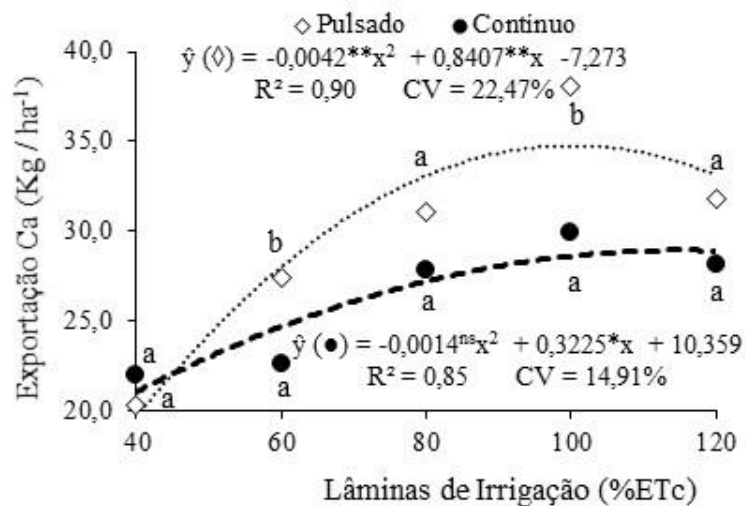


Figura 13. Desdobramento da interação entre os fatores para a exportação de cálcio (Ca) na cultura da cana-de-açúcar, submetido a diferentes lâminas de irrigação e tipos de aplicação de irrigação (contínuo e pulsado), Carpina-PE. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Constata-se que os maiores valores de exportação de Ca foram obtidos com o uso da irrigação pulsada tendo-se ajustado um valor máximo de 34,80 kg ha⁻¹ na lâmina correspondente a 100% da ETc, revelando um incremento de 77,23% em relação a lâmina de 40% da ETc. Com a aplicação da irrigação contínua a exportação máxima de Ca obtida foi de 28,93 kg ha⁻¹ na lâmina correspondente a

115,18% da ETc, com incremento percentual de 37,69, em relação a lâmina de 40% da ETc.

Lira et al. (2019), trabalhando com teor, extração e exportação de nutrientes, com diferentes níveis de salinidades e frações de lixiviação e irrigação plena na cultura da cana-de-açúcar, verificaram exportação máxima de Ca de 129 kg ha⁻¹, com a utilização de água não salina (T1 = 0,5 dS m⁻¹).

Benett et al. (2013), estudaram o acúmulo de nutrientes no colmo de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de manganês e encontraram exportações máximas de Ca de 12,52 kg ha⁻¹.

Os dados de exportação de magnésio (Mg) na cana-de-açúcar em função das lâminas de reposição de irrigação avaliadas ajustaram-se ao modelo quadrático (Figura 14). A máxima exportação do nutriente estimada para a cultura foi de 30,37 kg ha⁻¹ obtida com a aplicação da lâmina de 90,76%, revelando incremento de 21,69% sobre a lâmina de 40% da ETc.

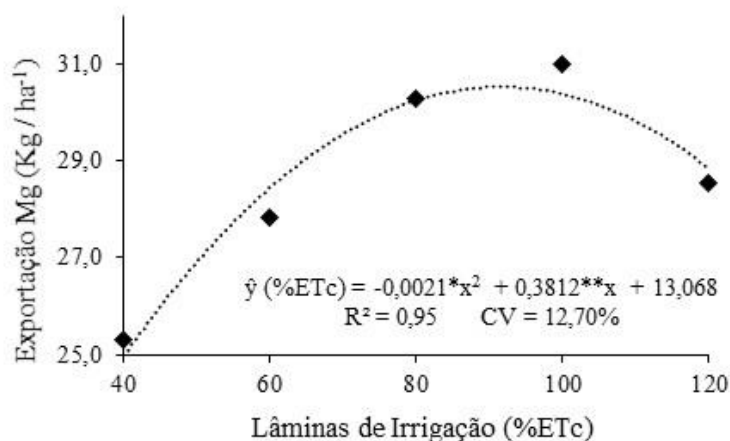


Figura 14. Exportação de magnésio (Mg) pela cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação em Carpina - PE. * e **, respectivamente, significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade.

Lira et al. (2019), avaliando o teor, a extração e a exportação de nutrientes em cana-de-açúcar sob salinidades e frações de lixiviação sob irrigação plena, constataram que a maior exportação de Mg, obtida com água não salina (T1 = 0,5 dS m⁻¹), foi de 65 kg ha⁻¹. Já Oliveira et al. (2010), também sob irrigação plena da cana-de-açúcar, verificaram que a maior exportação do nutriente para a variedade RB92579 foi de 99 kg ha⁻¹.

A extração de enxofre (S) pela cana-de-açúcar quando irrigada por pulsos foi de 27,55 Kg ha⁻¹, já para a condição de aplicação da lâmina de irrigação de forma contínua a extração média encontrada foi de 25,32 kg ha⁻¹ (Figura 15). Observa-se um incremento de 8,81% na concentração de S com a utilização da irrigação pulsada em relação a irrigação aplicada de forma contínua. Esses resultados evidenciam que a manutenção de uma umidade do solo mais constante ao longo do dia em decorrência da aplicação por pulsos pode ter contribuído para uma maior estabilidade da solução do solo e, conseqüentemente, ter proporcionado uma maior absorção do nutriente em relação a absorção do mesmo quando irrigado de forma contínua.

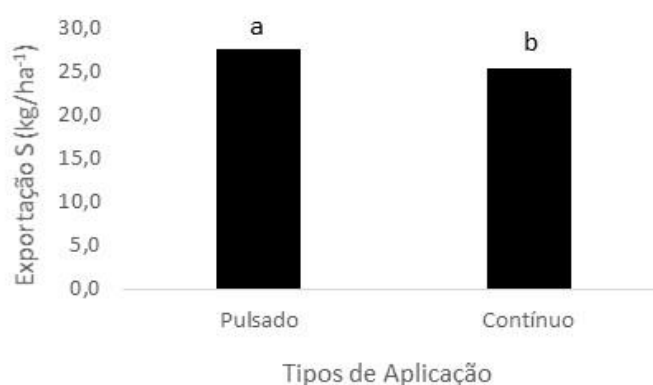


Figura 15. Exportação de enxofre (S) pela cultura da cana-de-açúcar em função dos tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) em Carpina - PE. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Tasso Júnior et al. (2007), avaliando as variedades de cana-de-açúcar RB 85-5453; RB 85-5156; RB 83-5486; SP 89-1115 e IAC 91-2195 na região de Colina-SP, obtiveram média de 15,70 Kg ha⁻¹. Franco et al. (2008), avaliando o acúmulo do nutriente pela cultivar SP 81-3250 no ciclo de cana planta em duas regiões, verificaram um acúmulo médio de 14,5 kg de S para cada 100 toneladas de colmos industrializáveis.

Verifica-se que o comportamento dos dados relacionados a exportação de Fe pela cultura da cana-de-açúcar na presente pesquisa (Figura 16) seguiu a mesma tendência daqueles constatados para a extração do nutriente (Figura 9), tendo-se a maior exportação do nutriente (8,05 kg ha⁻¹) sido obtida com a aplicação da irrigação

de forma contínua, refletindo-se em incremento de 27,98% em relação a exportação (6,29 kg ha⁻¹) obtida com a aplicação pulsada.

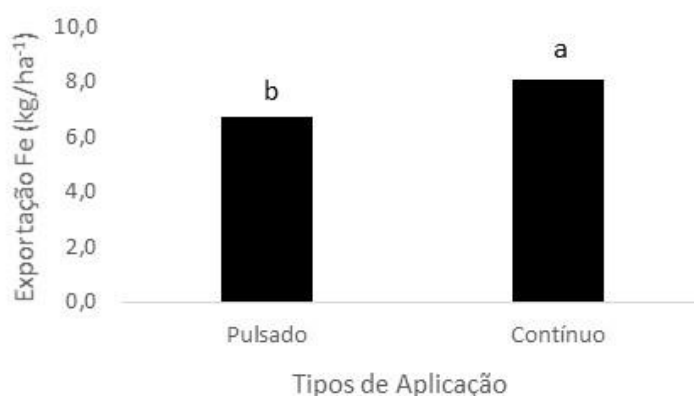


Figura 16. Exportação de ferro (Fe) pela cultura da cana-de-açúcar em função dos tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) em Carpina - PE. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Benett et al. (2013), ao avaliarem o acúmulo de Fe no colmo de cana planta cultivar RB 867515 em função de fontes e doses de manganês, encontraram que a exportação de Fe pela cultura foi de 1,83 kg ha⁻¹. Já Mendes et al. (2011) avaliando a exportação de micronutrientes pela variedade RB92579 observaram um acúmulo de Fe de 362 g ha⁻¹.

De acordo com Oliveira et al. (2001), o Fe ocorre nos solos em mais de uma valência, dependendo do teor de umidade ou do estado de oxirredução do solo, podendo desta forma, ser extraído em maior ou menor quantidade pelas plantas em função da valência que este venha a se apresentar na solução do solo. Além disso, as variedades de cana-de-açúcar podem apresentar, para um mesmo nutriente, exigências diferentes em termos quantitativos.

Por intermédio da Figura 17, observa-se o efeito isolado dos tipos de aplicação da irrigação sobre a exportação de manganês (Mn) pela cultura da cana-de-açúcar.

Os valores médios encontrados para a variável foram de 0,10 e 0,15 kg ha⁻¹, os quais foram obtidos com a aplicação da irrigação contínua e pulsada, respectivamente.

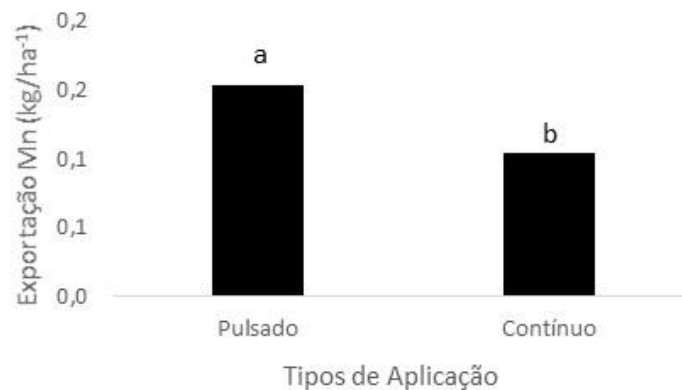


Figura 17. Exportação de manganês (Mn) pela cultura da cana-de-açúcar em função dos tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) em Carpina - PE. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Benett et al. (2013), avaliando a exportação do micronutriente Mn na cultura da cana planta em função de fontes e doses de manganês, observaram que o maior valor exportado foi de 2,31 kg ha⁻¹, porém, esse valor mais elevado de exportação encontrado pelos autores em relação ao valor encontrado no presente trabalho pode ser justificado pelo fato dos autores terem avaliado a aplicação de doses de manganês.

O efeito dos fatores isolados lâminas de reposição da ETC e tipos de aplicação de irrigação sobre a exportação de zinco (Zn) pode ser verificado na Figura 18.

Para a exportação de zinco (Zn) ajustou-se o modelo linear crescente (Figura 18), com as médias estimadas de 0,131 e 0,158 kg ha⁻¹ para as lâminas de 40 e 120%. Quanto ao efeito dos tipos de irrigação, verifica-se que a maior exportação (0,159 kg ha⁻¹) do nutriente foi obtida com a aplicação da irrigação pulsada, tendo-se verificado um incremento de 23,26% em relação a aplicação contínua.

O maior valor extraído observado por Benett et al. (2013), quando se avaliaram o micronutriente Zn na cultura da cana-de-açúcar, trabalhando com três fontes de manganês (Mn) e cinco doses, foi de 0,79 kg ha⁻¹.

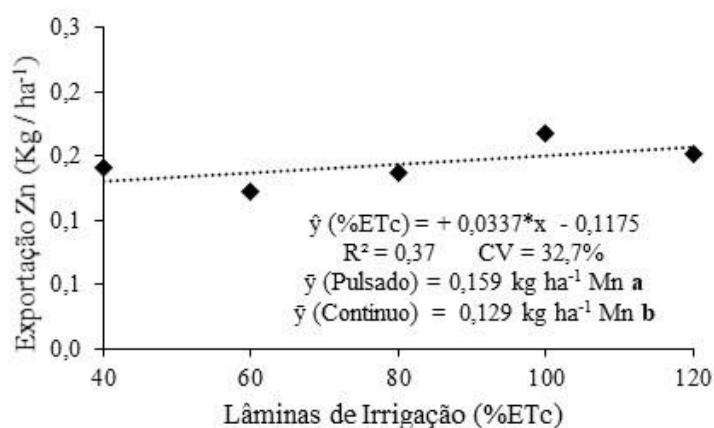


Figura 18. Exportação de zinco (Zn) pela cultura da cana-de-açúcar, submetida a diferentes lâminas de irrigação em Carpina- PE. *, significativo a 0,05 de probabilidade. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

A extração média total (parte aérea + colmo) de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar (cana planta) irrigada por pulso foi em ordem decrescente de: 139,38, 107,01, 49,06, 42,14, 40,21, 25,18, 6,50, 0,84, 0,22 e 0,17 kg ha⁻¹ de K, N, Ca, S, Mg, P, Fe, Zn, Mn e Cu, respectivamente. Já a extração média total verificada para a cultura irrigada de forma contínua foi na seguinte ordem decrescente de: 131,5, 107,08, 43,32, 42, 38,49, 25,72, 8,05, 0,71, 0,17 e 0,16 kg ha⁻¹ de K, N, S, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Mn e Cu, respectivamente.

Com relação a exportação de nutrientes pela cultura quando irrigada por pulso verificou-se os seguintes valores médios com a seguinte ordem decrescente: 87,31, 85,27, 29,73, 28,57, 27,55, 21,39, 6,29, 0,16, 0,15 e 0,11 kg ha⁻¹ de N, K, Ca, Mg, S, P, Fe, Zn, Mn e Cu, respectivamente. Os valores médios da exportação de nutrientes obtidos com a irrigação aplicada de forma contínua foram em seguinte ordem decrescente de: 85,47, 82,22, 28,58, 26,08, 25,32, 20,94, 8,05, 0,13, 0,11 e 0,10 kg ha⁻¹ de N, K, Mg, Ca, S, P, Fe, Zn, Cu e Mn, respectivamente.

CONCLUSÕES

As extrações de N e Mn e as exportações de N e Mg pela cultura da cana-de-açúcar (cana planta) foram influenciadas positivamente pelo aumento das lâminas de irrigação avaliadas;

A irrigação contínua proporcionou maiores extrações e exportações de Fe e a irrigação por pulso a maior exportação de S e maiores extrações e exportações de Mn e Zn;

Os maiores valores de extração e de exportação de Ca pela cultura foram obtidos com a aplicação da irrigação pulsada combinada com as lâminas, respectivamente para a extração e exportação, de 92,88 e 100% da ETC;

A ordem decrescente de extração de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar (cana planta) irrigada por pulso foi: $K > N > Ca > S > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu$. Já para a irrigação contínua a ordem foi: $K > N > S > Ca > Mg > P > Fe > Zn > Mn > Cu$;

A ordem decrescente de exportação de nutrientes pela cultura irrigada por pulso foi: $N > K > Ca > Mg > S > P > Fe > Zn > Mn > Cu$. Quando irrigada de forma contínua seguiu a seguinte ordem: $N > K > Mg > Ca > S > P > Fe > Zn > Cu > Mn$.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W. F. Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na formação do bulbo molhado e produtividade da alface americana. 2012. 80 f. Tese (Doutorado em Engenharia de água e Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. 2012.

BAJPAI, A.; KAUSHAL, A. Soil moisture distribution under trickle irrigation: a review. *Water Supply*, v. 20, p. 761-772, 2020.

BARBOSA, M.; OLIVEIRA, M.; SILVEIRA, L.; DAMASCENO, C.; MENDES, L. Acúmulo e alocação de nutrientes pela RB72454 no ciclo da cana-planta. In Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Vol. 8, p. 264-267, 2002.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; BENETT, K. S. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; COSTA, N. R.; MAEDA, A. S.; ANDREOTTI, M. Acúmulo de nutrientes no colmo de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de manganês. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, p. 1077-1088, 2013.

BARROS, A. H. C. Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Árvore do conhecimento: Território Mata Sul Pernambucana - Clima. Disponível: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h68l5n4.html>. Acesso em: 03/10/2016.

BERTSCH, F. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José (Costa Rica): Asociación costarricense de la ciencia del suelo, 2003. 306 p.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. 1ª. ed. Recife: UFRPE, 2011. 267 p.

CAVALCANTI, F. L. A.; SANTOS, J. C. P.; PEREIRA, J. R.; LEITE, J. P.; SILVA, M. C. L.; FREIRE, F. J.; SILVA, D. J.; SOUSA, A. R.; MESSIAS, A. S.; FARIAS, C. M. B.; BURGOS, N.; LIMA JÚNIOR, M. A.; GOMES, R. V.; CAVALCANTI, A. C.; LIMA, J. F. W. F. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3ª ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, 2008. 212 p.

CHAVARRO, F. G.; GUTIÉRREZ, M. C.; GÓMEZ, M. R.; DURÁN, R. J. Curvas de absorción de macronutrientes en tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, v. 21, p. 395-404, 2018.

COELHO, F. S.; VERLENGIA, F. Fertilidade do solo. 2.ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384p.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. O.; OLIVEIRA, G. R. Remoção de macronutrientes pela cultura da cana-planta e cana-soca em Argissolos, variedades RB 835486 e SP 81-3250. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 24, p. 32-36,2006.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-açúcar SAFRA 2020/21. Conab, v. 7, 2020. p. 1–64.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-açúcar SAFRA 2021/22. Conab, v. 8, 2021. p. 1–56.

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

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. Rome FAO: Irrigation and drainage paper, 24. 1977.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FRANCO, H. C. J.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H.; TRIVELIN, M. O. Acúmulo de nutrientes pela cana planta. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 26, p. 41-45, 2008.

GOYAL, M.R. Management of drip/trickle or micro irrigation. Canada: Apple Academic Press, 2012. 408 p.

GRANGEIRO, L. C.; FREITAS, F. C. L.; NEGREIROS, M. Z.; MARROCOS, S. T. P.; INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Norma Climatológica do Brasil 1961-1990.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>> Acesso em: 28/09/2016.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açú (*Saccharum officinarum* L.). Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v. 3, p. 169–176, 2011.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, v. 17, p. 678-684, 1974.

LINDSAY, W. L.; COX, F. R. Micronutrients soil testing for tropics. In: Vlek, P. L. G. (Ed.). Micronutrients in tropical food crop production: developments in plant and soil sciences. Dordrecht, Martinus Nighoff, p. 169-200, 1985.

LIRA, R. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; SOUZA, D. H. S.; PEDROSA, E. M. R.; GORDIN, L. C. Content, extraction and export of nutrients in sugarcane under salinity and leaching fraction. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, p. 432-438, 2019.

LUCENA, R. R. M.; OLIVEIRA, R. A. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 6, p. 11-16, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.

MENDES, A. M. S.; MOURA, M. S. B; SILVA, T. G. F.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Acúmulo e exportação de micronutrientes pela cana de açúcar irrigada no Semiárido brasileiro. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 33. Uberlândia, Brasil, SBCS, p. 1-4, 2011.

MENDES, L. C. Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar. Viçosa: UFV, 2006. 62 p. Dissertação de Mestrado.

MENEZES, S. M.; SILVA, G. F.; ZAMORA, V. R. O.; SILVA, M. M.; SILVA, A. C. R. A.; SILVA, E. F. F. Nutritional status of coriander under fertigation depths and pulse and continuous drip irrigation. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 24, p. 364-371, 2020.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34. p. 1343–1352, 2010.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. Revista Ciência Agronômica, v. 42, p. 579-588, 2011.

OLIVEIRA, E.C.A. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar irrigada em sistema de produção. Recife: UFRPE, 2008. 84 p. Dissertação Mestrado.

OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J.; SANTOS, R. S. M.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; FARIA, C. D. Concentrações residuais de cobre, ferro, manganês e zinco em Latossolo Roxo Eutrófico sob diferentes tipos de manejo. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 31, p. 97-103, 2001.

OLIVEIRA, M. W.; MENDES, L. C.; BARBOSA, M. H P.; VITTI, C. A.; FARIA, R. O. Avaliação do potencial produtivo de sete variedades de cana-de-açúcar sob irrigação suplementar. Rev. Informações Agronômicas, v. 101, p. 9-10, 2003.

OLIVEIRA, R. I.; MEDEIROS, M. R. F. A.; FREIRE, C. S.; FREIRE, F. J.; SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, E. C. A. Nutrient partitioning and nutritional requirement in sugarcane. *Australian Journal of Crop Science*, v. 10, p. 69-75, 2016.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M. E. (Coord.). *Micronutriente e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS. v. 1, p. 355-373, 2001.

PRATS, A.; PICÓ, S. Adaptation of pressurized irrigation networks to new strategies of irrigation management: Energy implications of low discharge and pulsed irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 169, p. 52-60, 2016.

QUINTERO, D.R. Extração de nutrientes pela cana-de-açúcar. *Carta Trimestral do Revista Cenicaña*. v.1, p. 4-7. 1999.

SILVA, F. C. *Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes*. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2009. 627 p.

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

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; OLIVEIRA, T. B. A.; SANTANA, M. B.; GALVÃO, E. R. Stalk yield and nutrients accumulation of sugarcane varieties in three crop cycles. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 41, p. 415-423, 2018.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, A. T.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A. Níveis críticos de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar em Pernambuco. *Revista Ceres*, v. 58, p. 802–810, 2011.

SINGH, K.G.; GOYAL, M.R.; RUDRA, R.P.; Best management practices for drip irrigated crops. Florida: Apple Academic Press, 2016. 388 p.

TASSO JÚNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; CAMILOTTI, F. & SILVA, T. Extração e exportação de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do Estado de São Paulo. STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 25, p. 38-42, 2007.

VELASCO, J. Los biofertilizantes y la producción de cana de azúcar (*Saccharum spp.*). AGROProductividad, v. 7, p. 60, 2014.

YANG, M. D.; LEGHARI, S. J.; GUAN, X. K.; MA, S. C.; DING, C. M.; MEI, F. J.; WEI, L.; WANG, T. C. Deficit subsurface drip irrigation improves water use efficiency and stabilizes yield by enhancing subsoil water extraction in winter wheat. *Erontiers in Plant Science*, v. 11, p. 1-18, 2020.