

IGOR ALMIR SILVA GONÇALVES

**PULSOS E INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO SOBRE OS ASPECTOS
FISIOLÓGICOS, DE CRESCIMENTO E DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

RECIFE
MAIO DE 2024

IGOR ALMIR SILVA GONÇALVES

**PULSOS E INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO SOBRE OS ASPECTOS
FISIOLÓGICOS, DE CRESCIMENTO E DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola da Universidade Federal Rural de
Pernambuco como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Mestre em Engenharia
Agrícola

Orientador: Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da
Silva

RECIFE
MAIO DE 2024

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)

- G635p Gonçalves, Igor Almir Silva.
Pulsos e intervalos de irrigação sobre os aspectos fisiológicos, de crescimento e produção da cana-de-açúcar / Igor Almir Silva Gonçalves. – Recife, 2024.
88 f.;il.
- Orientador: Gerônimo Ferreira da Silva.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2024.
- Inclui referências.
1. Irrigação. 2. Saccharum officinarum. 3. Agronomia. I. Silva, Gerônimo Ferreira da, orient. II. Título

CDD 630

Aos meus pais, irmãos e todos os familiares, por todo o amor, apoio e ensinamentos em todas as etapas da minha vida.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me permitir a vida, persistência e força em todo o processo enfrentado nessa etapa da minha vida. Por todas as vezes que me senti incapaz e Ele me apoiou e me manteve de cabeça erguida;

Aos meus familiares que sempre acreditaram em mim, são a minha base e meu refúgio, em especial a minha mãe Elizabete Barbosa, a qual tudo que me tornei e estou me tornando foi graças aos sacrifícios e educação que ela me proporcionou;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco - Departamento de Engenharia Agrícola;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) pela oportunidade de ingressar nessa minha formação profissional;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da Bolsa de estudo;

À Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC), por disponibilizar o espaço para a realização do experimento, bem como todo suporte técnico e estrutural durante a realização do trabalho;

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

Ao meu orientador professor Gerônimo Ferreira da Silva, pelos ensinamentos, paciência, motivação e amizade, por ter me acolhido como seu orientando e me dado toda a ajuda necessária;

Ao Professor Manassés Mesquita pelos ensinamentos e colaboração no projeto;

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

A todos os colegas de curso que ingressaram nessa etapa da vida comigo e que de alguma forma tornou essa experiência mais leve e prazerosa, irei levar todas as lembranças e ensinamentos comigo.

Obrigado!

RESUMO GERAL

A irrigação pulsada em consonância com a aplicação de um número adequado de pulsos são alternativas para o manejo da irrigação capazes de reduzir os efeitos deletérios do estresse hídrico e, conseqüentemente, beneficiar as trocas gasosas e aumentar a produtividade da cultura da cana-de-açúcar. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar os efeitos de diferentes números de pulsos e intervalos de aplicação da irrigação por gotejamento subsuperficial sobre as trocas gasosas e os parâmetros de crescimento e de produção da cana-de-açúcar na Mata Norte de Pernambuco. O experimento foi conduzido em campo na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC/UFRPE), no período de outubro de 2022 a outubro de 2023. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial $4 \times 2 + 1$, sendo o primeiro fator constituído 4 diferentes números de pulsos (2, 3, 4 e 5 pulsos), o segundo fator por 2 intervalos de aplicação entre os pulsos (20 e 40 minutos) e o terceiro fator composto por um tratamento testemunha (irrigação com 100% da ETc, aplicada de forma contínua), com 4 repetições. Foram analisados, aos 330 dias após o plantio as seguintes variáveis: concentração interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (gs), transpiração (E), fotossíntese líquida (A), eficiência instantânea de uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci). O crescimento das plantas foi acompanhado por meio da realização das seguintes medições, realizadas aos 180, 220, 260, 300, 330 e 360 dias após o corte: altura e diâmetro do colmo, área foliar e índice de área foliar, sendo essas medições realizadas em 10 plantas por parcela, previamente identificadas, escolhidas de forma aleatória, na área útil de cada parcela. No fim do ciclo foi determinada, também, a massa fresca da parte aérea, a massa seca da parte aérea e a produtividade da cultura. As melhores respostas para a A, gs, A/g_s e todas as variáveis de crescimento avaliadas e produtividade da cultura foram obtidas com a aplicação de 4 pulsos de irrigação. Os maiores valores de E, A/Ci e todas as variáveis de crescimento avaliadas e produtividade foram obtidos com o intervalo de 40 minutos. Todos os valores observados para as variáveis A, E, gs, de crescimento e produtividade da cultura com a utilização do tratamento testemunha foram inferiores àqueles obtidos com qualquer combinação dos demais tratamentos estudados.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; RB041443; manejo de irrigação; irrigação pulsada; trocas gasosas; produtividade.

GENERAL ABSTRACT

Pulsed irrigation in accordance with the application of an adequate number of pulses are alternatives for irrigation management capable of reducing the harmful effects of water stress and, consequently, benefiting gas exchange and increasing the productivity of sugarcane crops. The objective of this work was to evaluate the effects of different numbers of pulses and application intervals of subsurface drip irrigation on gas exchange and growth and production parameters of sugarcane in the North Forest of Pernambuco. The experimental design used was randomized blocks, in a $4 \times 2 + 1$ factorial arrangement, the first factor consisting of 4 different numbers of pulses (2, 3, 4 and 5 pulses), the second factor consisting of 2 application intervals between pulses (20 and 40 minutes) and the third factor consisting of a control treatment (irrigation with 100% Etc, applied continuously), with 4 repetitions. The following variables were analyzed 330 days after planting: internal CO₂ concentration (C_i), stomatal conductance (g_s), 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 growth of the sugarcane plants was monitored by carrying out the following measurements carried, out at 180, 220, 260, 300, 330 and 360 days after cutting: height and stem diameter, leaf area and leaf area index, these measurements being carried out on 10 plants per plot, previously identified, chosen at random, in the useful area of each plot. At the end of the cycle, the fresh mass of the aerial part, the dry mass of the aerial part and the productivity of the crop were also determined. The best responses for A, g_s, A/g_s and all evaluated growth variables and crop productivity were obtained with the application of 4 irrigation pulses. The highest values of E, A/C_i and all evaluated growth variables and productivity were obtained with an interval of 40 minutes. All values observed for variables A, E, g_s, growth and crop productivity using the control treatment were lower than those obtained with any combination of the other treatments studied.

Keywords: *Saccharum* spp.; RB041443; irrigation management; pulsed irrigation; gas exchange; productivity.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	11
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Cultura da cana-de-açúcar.....	14
2.2. Importância econômica.....	17
2.3. Demanda Hídrica e Estresse Hídrico.....	18
2.4. Irrigação.....	20
2.5. Irrigação por pulsos.....	22
2.6. Aspectos fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar.....	23
2.7. Aspectos biométricos e produtivos.....	24
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
CAPÍTULO II.....	36
PULSOS E INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL SOBRE AS TROCAS GASOSAS DA CANA-DE-AÇÚCAR....	36
1. INTRODUÇÃO.....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4. CONCLUSÕES.....	54
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
CAPÍTULO III.....	59
PULSOS E INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O CRESCIMENTO E A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	60
1. INTRODUÇÃO.....	62
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	63
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
4. CONCLUSÕES.....	82
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II.....	35
Figura 1. Croqui da área experimental do local de realização do experimento. (SILVA, 2022).....	36
Figura 2. 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.....	41
Figura 3. Esquema de numeração de folhas pelo sistema de Kuijper. Fonte: Dillewijn (1952).....	44
Figura 4. Fotossíntese Líquida (A) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos de irrigação e intervalos de aplicação da irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAP. ** e * Significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.....	46
Figura 5. Condutância estomática (gs) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos de irrigação e intervalos de aplicação de irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAP. ** e * Significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott- Knott.....	48
Figura 6. Transpiração (E) da cana-de-açúcar em função dos intervalos de aplicação da irrigação (20 e 40 minutos) 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 ($p < 0,05$).....	50
Figura 7. Eficiência intrínseca do uso da água (A/gS) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos de aplicação da irrigação e intervalos de irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAP. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.....	51
Figura 8. Eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) da cana-de-açúcar em função dos intervalos de aplicação da irrigação (20 e 40 minutos) 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 ($p < 0,05$).....	52
CAPÍTULO III.....	59
Figura 1. Croqui da área experimental do local de realização do experimento. (SILVA, 2022).....	64
Figura 2. Altura de planta (AL) da cultura da cana-de-açúcar em função dos dias após o corte (A), diferentes pulsos de irrigação e intervalos de irrigação (B), em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.....	70
Figura 3. Diâmetro do colmo da cultura da cana-de-açúcar em função dos dias após o corte (A) e diferentes pulsos de irrigação (B), em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.....	72

Figura 4. Área foliar (AF) da cultura da cana-de-açúcar em função dos dias após o corte e intervalos de irrigação, em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.....73

Figura 5. Índice de área foliar (IAF) da cultura da cana-de-açúcar em função dos dias após o corte (A), diferentes pulsos de irrigação e intervalos de irrigação (B), em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.....75

Figura 6. Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) (A) e Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) (B) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos e intervalos de irrigação, em Carpina - PE. ** e * Significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.....77

Figura 7. Massa Fresca do Colmo (MFCOLMO) (A) e Massa Seca do Colmo (MSCOLMO) (B) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos e intervalos de irrigação em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.....78

Figura 8. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos e intervalos de irrigação, em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.....79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II.....	36
Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, Carpina 2023.....	41
Tabela 2. Coeficientes de cultura (Kc) para cana-de-açúcar nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.....	43
Tabela 3. Resumo da Análise de variância das variáveis: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO ₂ (Ci), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g _s), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos de irrigação e diferentes intervalos de irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAC.....	46
Tabela 4. Resumo da análise de variância dos contrastes ortogonais para as variáveis da fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO ₂ (Ci), eficiência instantânea de uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g _s) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) da cana-de-açúcar (3º ciclo) submetida a diferentes pulsos de irrigação (2, 3, 4 e pulsos), intervalos de aplicação da irrigação (20 e 40 minutos), e um tratamento testemunha o qual o manejo da irrigação foi realizado de forma contínua e com a aplicação de 100% da ETc.....	53
CAPÍTULO III.....	59
Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, Carpina 2023.....	64
Tabela 2. Coeficientes de cultura (Kc) para cana-de-açúcar nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.....	66
Tabela 3. Resumo da análise de variância das variáveis: altura de planta (AL), diâmetro (DIAM), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar submetida a diferentes tempos de avaliação, diferentes pulsos de irrigação e diferentes intervalos de aplicação de irrigação, em Carpina – PE.....	69
Tabela 4. Resumo da Análise de variância das variáveis: Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Fresca do Colmo (MFCOLMO), Massa Seca do Colmo (MSCOLMO) e Produtividade da cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos e intervalos de irrigação, em Carpina – PE, 2023.....	76
Tabela 5. Resumo da análise de variância dos contrastes ortogonais para as variáveis altura de planta (AL), diâmetro do colmo (DIAM), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar (3º ciclo) submetida a diferentes pulsos de irrigação (2, 3, 4 e pulsos), intervalos de aplicação da irrigação (20 e 40 minutos), e um tratamento testemunha irrigado de forma contínua com 100% da ETc, aos 360 dias após o corte do ciclo anterior, em Carpina-PE.....	80
Tabela 6. Resumo da análise de variância dos contrastes ortogonais para as variáveis Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Fresca do Colmo (MFCOLMO), Massa Seca do Colmo (MSCOLMO) e produtividade da cana-de-açúcar sob diferentes tratamentos, em Carpina – PE.....	81

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL/ REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é considerada uma das principais commodities agrícolas em termos de produtividade, sendo recorrentemente o Brasil um dos maiores produtores desta cultura, destacando-se também na comercialização e exportação dos seus subprodutos, como o etanol que teve um crescimento devido ao incentivo na utilização de álcool, tornando o país um dos maiores produtores de etanol até o momento (SANTOS et al., 2019).

Em produção, o Brasil lidera o ranking mundial de cana-de-açúcar, com aproximadamente 677.614.000,0 toneladas na safra 2022/2023, com uma produtividade de 81,12 ton ha⁻¹. Havendo um crescimento de 10,9% de produtividade em relação à safra 2021/2022 (CONAB, 2023)

Conforme a CONAB (2023), o aumento da produção na safra 2022/2023 ocorreu principalmente devido as novas tecnologias e ao investimento nessa área, assim como uma maior área destinada ao cultivo desta cultura.

Com a alta demanda dos produtos gerados a partir da cana-de-açúcar, a busca por alternativas para o aumento da sua produtividade tem aumentado, visando atender as altas demandas e a competitividade do mercado. Diante disso, estudos sobre novas tecnologias se mostram necessários visando-se o aumento da produtividade dessa cultura.

Dentre os vários estresses abióticos que limitam o desenvolvimento da cana-de-açúcar, evidencia-se o déficit hídrico. Ainda que a cultura da cana-de-açúcar seja conhecida como tolerante a certos níveis de déficit hídrico, condições extremas podem afetar seu metabolismo e ser prejudicial ao seu ciclo (CARDOZO et al., 2018; FARAG et al., 2018). A irrigação surge como uma estratégia para suprir as necessidades da cultura em locais onde há irregularidade na distribuição pluviométrica, possibilitando a continuidade na atividade agrícola com eficiência no uso da água.

Para continuar a evolução de uma agricultura sustentável e com altos índices, visando a qualidade do produto e a redução de custos se mostram necessário o surgimento de novas tecnologias e o aprimoramento de técnicas nos sistemas de cultivos irrigados. A esse respeito, tem-se a irrigação por pulsos, uma técnica empregada dentro do manejo de irrigação, que proporciona melhor aproveitamento da água aplicada, reduzindo as perdas de água e o gasto com energia (ZAMORA et al., 2019).

A técnica de irrigação por gotejamento pulsado consiste na aplicação de uma lâmina fracionada, com intervalos de descanso do sistema, sendo esse ciclo repetido até que seja

aplicada a lâmina diária requerida. Este modo de aplicação tem como vantagens menores perdas por percolação, maior uniformidade e eficiência de aplicação e mantém a umidade do solo na zona radicular próxima a capacidade de campo (ALMEIDA et al., 2018).

Alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil constataram os benefícios da irrigação por pulsos em algumas culturas, como por exemplo na alface (ALMEIDA et al., 2015) em que se constatou economia de água de 25% quando não se utilizou cobertura morta no cultivo e 50% de economia de água em tratamentos com cobertura plástica sem acarretar em perdas na produção. Na cultura do coentro, Zamora et al. (2019) observaram que a irrigação por pulsos promoveu incremento na produtividade e uma economia de água de 40% durante o ciclo de cultivo. Menezes et al. (2020) observaram que a irrigação pulsada proporcionou redução no consumo de água pelas plantas de coentro sem comprometer o acúmulo de matéria seca e nutrientes pela cultura.

A respeito da cana-de-açúcar, pesquisas realizadas por Silva (2022) relatou que a irrigação por gotejamento pulsado proporcionou ganhos na produtividade em relação ao gotejamento contínuo, assim como uma maior eficiência no uso da água. Andrade (2021) avaliando o acúmulo e a exportação de nutrientes pela cana, observou que houve diferenças nos nutrientes avaliados quando os tratamentos foram submetidos a irrigação pulsada e contínua, da mesma forma que os níveis de extração e de exportação de nitrogênio foram influenciadas positivamente pelo aumento das lâminas de irrigação avaliadas.

No entanto, mesmo diante dos resultados promissores dessa técnica, há a necessidade de mais estudos que avaliem os efeitos da irrigação por pulsos sobre a cultura da cana-de-açúcar, e também, que aprimorem os conhecimentos da influência da irrigação com diferentes números de pulsos e diferentes intervalos de aplicação desses pulsos sobre essa cultura. Esses estudos são de grande relevância, pois podem aprimorar o manejo de irrigação a ser praticado, visando maior retorno econômico e o uso racional dos recursos hídricos. Além de contribuir com a tomada de decisões em projetos de irrigação que geram grandes benefícios às culturas agrícolas e novas práticas de manejo mais eficazes.

Tendo em vista a importância da cana-de-açúcar no cenário nacional, a relevância no uso correto de recursos hídricos e a demanda de água por esta cultura, o objetivo do presente estudo foi avaliar como o número de pulsos e o intervalo de aplicação desses pulsos de irrigação podem influenciar os aspectos fisiológicos, de crescimento e de produção da cana-de-açúcar cultivada na zona da Mata Norte do Estado de Pernambuco.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é originária da região sudeste do continente asiático, onde citações mais precisas mostram a região central da Nova Guiné e Indonésia como o possível centro de origem dessa cultura (MATSUOKA et al., 2005). Seu cultivo iniciou há mais de 10.000 anos a.C., sendo utilizada como planta ornamental de jardins, quando por volta de 1.000 anos a.C. a cultura se expandiu juntamente com as migrações náuticas dos habitantes do Oceano Pacífico, disseminando-se em várias ilhas do sul do Pacífico, na Indochina, no Arquipélago da Malásia e em Bengala, datando do século IX, os primeiros relatos do processo de produção e fabricação de açúcar na Índia (MIRANDA, 2008).

A cana-de-açúcar é um vegetal pertencente à família *Poaceae*, possui caule do tipo colmo compostos por nó e entrenó, folhas alternadas com lâminas de sílicas em suas bordas, bainha aberta, inflorescência do tipo panícula, flor hermafrodita e sistema radicular fasciculado (TOPPA et al., 2010). Desenvolve-se formando touceira, e durante o seu desenvolvimento passa por quatro estágios: brotação e emergência dos brotos, perfilhamento, crescimento e maturação (SILVA e SILVA, 2012).

Diversos fatores podem afetar significativamente a cana-de-açúcar, cuja produtividade e qualidade tecnológica final são resultados da integração das condições ambientais e do manejo ao qual a cultura foi submetida durante seu ciclo (GILBERT et al., 2006).

As variedades mais cultivadas em escala comercial são oriundas do cruzamento entre *S. officinarum* e *S. spontaneum* (BEZERRA et al., 2018). De acordo com Cheavegatti-Gianotto et al. (2011), a espécie *S. officinarum* é caracterizada por acumular grande quantidade de sacarose em seus colmos, enquanto *S. spontaneum* é uma espécie selvagem com maior vigor e alta capacidade de adaptação aos ambientes, proporcionando maior resistência a doenças e estresse.

O método de produção da cultura da cana-de-açúcar tem início com a chamada cana planta, apresentando um período de crescimento que geralmente varia de 12 a 18 meses. Após a colheita, a cultura rebrota dando início ao ciclo da chamada cana soca. As canas-soca podem ser colhidas várias vezes, entretanto, considerando a viabilidade comercial e econômica do canavial, o mais comum para as condições de cultivo operacionais

brasileiras é de quatro a cinco socas em sistema de cultivo em sequeiro, podendo dobrar esse número em condições de cultivo irrigado. Após a decisão de reforma do canavial, usualmente baseado no nível de produtividade da área o plantio é renovado, caracterizando um sistema de monocultura muito comum nos sistemas de produção do Brasil (FERRARO et al., 2009; DIAS, 2016).

Em relação à fenologia da cultura, basicamente o ciclo da cana-de-açúcar pode ser dividido em quatro estádios fenológicos bem definidos: brotação e estabelecimento, perfilhamento, crescimento da parte aérea e maturação dos colmos. A brotação e o estabelecimento das plantas são nos primeiros 20 a 30 dias; o período de perfilhamento inicia-se por volta dos 40 dias e pode durar até 120 dias; o crescimento da parte aérea ocorre ao atingir o perfilhamento máximo, geralmente a partir dos 120 dias após o plantio (ou corte) e pode durar até 270 dias, em um cultivo de 12 meses, sendo o estágio mais importante do cultivo, pois é quando se acumulam aproximadamente 75% da matéria seca total. Nesse período, a eficiência do processo de crescimento das plantas é determinada pela quantidade de radiação solar interceptada e sua conversão em matéria seca, sendo a eficiência de seu uso no processo de fotossíntese o principal motor da acumulação de biomassa (SINCLAIR et al., 2004; HEERDEN et al., 2010).

A fase de maturação dos colmos ocorre quando há reduções nas taxas de crescimento da planta e aumento no acúmulo de sacarose nos colmos, tendo início de 270 a 360 dias após o plantio e podendo se prolongar por até seis meses (DIOLA e SANTOS, 2010; BATISTA et al., 2015). Em determinados períodos em que as condições ambientais estão desfavoráveis ao crescimento e desenvolvimento vegetativo, tais como temperaturas mais baixas e períodos de seca moderados, o acúmulo de sacarose no colmo da cana-de-açúcar tende a ser intensificado (SEGATO et al., 2006).

A planta se desenvolve em forma de touceira, com a formação de perfilhos. A parte de maior interesse econômico são os colmos, encontrados na parte aérea, que são segmentados em nós e entrenós, onde se encontra a inserção foliar. Sendo considerado a parte principal da planta, o colmo possui uma forma cilíndrica e atinge, após o primeiro corte, cerca de 2 metros de altura, onde é extraído o caldo para a produção de açúcar e álcool. As folhas da cana, que se encontram no colmo fixados por meio da bainha, são responsáveis pela respiração, transpiração e elaboração dos açúcares nas plantas (RODRIGUES e ROSS, 2020).

A cana-de-açúcar é uma planta que apresenta metabolismo C4, altamente eficiente na conversão de energia proveniente do sol em química, é uma espécie vegetal de grande

capacidade acumulativa de biomassa, evidenciando uma elevada taxa fotossintética por unidade de área, proporcionando que as plantas C4 apresentem melhores índices em relação às plantas C3, sendo este o principal motivo da cultura da cana-de-açúcar ser altamente produtiva (ALBUQUERQUE, 2013).

O déficit hídrico pode reduzir a eficiência da conversão de luz pelas plantas. Isso ocorre porque a água tem um papel importante no metabolismo das plantas e sua indisponibilidade causa redução no potencial hídrico das folhas, diminuindo trocas gasosas, limitando assim o desenvolvimento e produção de sacarose (TAIZ et al., 2017).

Segundo Machado et al. (2009), por causa da baixa disponibilidade de água no solo, as trocas gasosas da cana-de-açúcar são diminuídas em todos os estágios de desenvolvimento, devido ao menor potencial hídrico foliar, reduzindo a produção de biomassa por caules e a produção de açúcar. Alterações nas trocas gasosas das plantas acarretam em fechamento estomático, esse processo é diretamente relacionado pelas condições hídricas, tanto no solo quanto das folhas (ZIVCAK et al., 2013).

Estudos realizados por Gonçalves et al. (2010) evidenciam que a cultura da cana-de-açúcar cultivada sob estresse hídrico apresenta redução na condutância estomática que promove redução na transpiração durante o período de estresse. A transpiração é um dos mecanismos envolvidos na regulação da temperatura das folhas. Uma vez que a transpiração é reduzida, a folha perde a capacidade de resfriamento e aumenta sua temperatura, pois 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).

Como produto da atividade fotossintética nos cloroplastos das células foliares, estão os açúcares, a exemplo da sacarose. Na cana-de-açúcar o colmo é um reservatório onde, em condições favoráveis à maturação, é acumulada grande quantidade de sacarose, a parte comercializada da cultura. A taxa de acúmulo de sacarose é maior na última fase do ciclo da cultura, coincidindo em períodos de temperaturas amenas e baixa disponibilidade hídrica, o que induz à maturação (ALMEIDA et al., 2008; ABREU et al., 2013).

2.2. Importância econômica

A cultura da cana-de-açúcar é uma das principais commodities do Brasil sendo de suma importância para o agronegócio brasileiro, uma vez que diferentemente dos demais países produtores, o cenário do setor sucroenergético é positivo e sustentável (CONAB, 2022).

Diferentemente da situação geral no Brasil, onde houve queda da produção e da produtividade da cana-de-açúcar, na região Nordeste, inclusive em Pernambuco, ocorreu o oposto, onde conforme os dados da safra 2021/2022 houve aumento da produção e da produtividade da cana-de-açúcar, respectivamente em 6,9% e 14,6% (CONAB, 2022).

A cana-de-açúcar é cultivada por diversos produtores e de forma direta e indireta gera grande oferta de empregos o que a torna uma cultura de grande importância socioeconômica e ambiental para o país. É amplamente cultivada ao redor do mundo e representa o principal produto agrícola usado como matéria prima para a agroindústria na fabricação de açúcar e álcool (etanol) e alguns subprodutos. É uma das mais importantes culturas energéticas de impacto socioeconômico no mundo, em que cerca de 75% da produção mundial de açúcar (sacarose) é originado da cana-de-açúcar onde, parte desse açúcar é usado na produção de etanol como combustível renovável e há ainda a cogeração de eletricidade a partir da biomassa residual desse processo (CRB, 2015; SANTOS et al., 2019).

A cana-de-açúcar tem realizado um papel ambiental muito importante, uma vez que é uma das culturas de bioenergia mais promissoras para reduzir a dependência de petróleo bruto e mitigar as emissões de gases de efeito estufa, haja vista que a queima de etanol como combustível reduz em 70% a emissão de CO₂ na atmosfera em relação à gasolina (JAISWAL et al., 2017).

A produção desta planta tem impacto positivo sobre o PIB per capita do município onde o cultivo está implantado, como também nos circunvizinhos (MORAES et al., 2016). A produção tem como produtos primários o açúcar e o etanol, e secundário o bagaço da cana que é uma matéria prima para a cogeração de energia, que reduz a utilização de energias fósseis (TARUMOTO et al., 2015).

O bagaço da cana, que pode ser interpretado como algo descartável, é utilizado na alimentação animal e na indústria de papel. Além de produzir o álcool etanol, através da cana-de-açúcar também são produzidos outros tipos como: a aguardente, o licor, o rum, a vodka e etc., da cana-de açúcar aproveita-se absolutamente tudo: bagaço, méis, tortas e

resíduos de colheita que servem como matéria orgânica ao solo, e a vinhaça (resíduo da destilação do caldo para obtenção do etanol) que é rica em N, P, K, é utilizada para a fertirrigação no campo (SILVA et al., 2012).

No Estado de Pernambuco, a concentração da produção se dá na região da Zona da Mata Norte, Sul e Metropolitana de Recife. De acordo com a CONAB (2022) a colheita manual predomina no estado, sendo correspondente a 95,7%, principalmente devido às condições topográficas.

2.3. Demanda hídrica e 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).

A disponibilidade hídrica na fase inicial da cultura de cana-de-açúcar é um dos fatores principais para o estabelecimento durante o estágio vegetativo. A esse respeito, Ramesh (2000) conduziu um experimento em Coimbatore (Índia) durante as safras de 1996 e 1997 mostrando o efeito da umidade no ciclo da cana-de-açúcar. Os tratamentos compreenderam três níveis de umidade durante a fase de formação vegetativa de 60-150 dias após plantio: 1º Sem irrigação (controle); 2º Irrigação a 80% de depleção da umidade do solo disponível; 3º Irrigação a 50% de depleção da umidade do solo disponível. Após os 150 dias todas as áreas utilizaram a mesma quantidade de água do tratamento 3. A redução no teor de matéria seca no estágio final de formação, crescimento vegetativo e maturação foi de 60,8, 52,4 e 25,9%, respectivamente, na área sem irrigação e 46,3, 36,3 e 15,1% no 2º tratamento, respectivamente, quando comparado ao tratamento controle.

Ainda de acordo com o autor supracitado, a mensuração de variáveis de crescimento como taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e índice de área foliar em condições normais de irrigação, particularmente durante a fase de formação, pode ajudar a prever matéria seca total na colheita.

A irrigação influencia na fase inicial de crescimento e no início do máximo desenvolvimento da soca da cana-de-açúcar. Pesquisa realizada com cana-de-açúcar no estado da Paraíba obteve resultados significativos em relação ao desenvolvimento vegetativo quando cultivada sob irrigação. O crescimento da cana-de-açúcar quando

irrigada estabilizou-se aproximadamente com 193 dias com altura de 152 cm, já sob o sistema de sequeiro as plantas cresceram até os 236 dias e mediram em média 148 cm (DANTAS NETO et al., 2006).

No experimento conduzido por Oliveira et al. (2011), na Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina/PE, foi avaliada a produtividade de açúcar e de colmos em variedades de cana-de-açúcar submetidas ao regime de sequeiro, sob índice pluviométrico de 1.141,4 mm no ano, e a irrigação plena usou mais 255,2 mm durante o ciclo da cultura, totalizando 1.396,6 mm de água utilizada no canavial. As variedades RB92579 e SP81-3250 de maturação média à precoce se destacaram quanto à eficiência do uso da água em regime hídrico de 1.396,6 mm. A produtividade de colmos das variedades RB92579, RB72454 e SP813250 apresentaram ganhos superiores a 180% com uso da irrigação, o que promoveu aumentos na produtividade de açúcar superiores a 200% nas variedades RB92579 e RB943365.

O estresse hídrico ou déficit hídrico designa na falta de água no solo para a demanda, o que torna a absorção de água e de nutrientes pelo sistema radicular da planta a ter seus números reduzidos, causando prejuízos. A falta de água possui vários efeitos no crescimento vegetal, inibindo a fotossíntese, a expansão radicular, e algumas em casos extremos pode acarretar na morte da planta, reduzindo a transpiração e tendo o murchamento da folha (MARENCO e LOPES, 2005).

Os efeitos pelo estresse hídrico se tornam em mudanças na fisiologia, anatomia e bioquímica das plantas, com diferente intensidade, a depender do tipo de planta e período de duração em que foram submetidas ao estresse (TAIZ et al., 2017). Segundo Inmam-Bamber (2004) os períodos de estresse hídrico causam a diminuição da área foliar, pois aceleram o processo de senescência das folhas verdes.

Na cultura da cana-de-açúcar o efeito do estresse hídrico, pode ser evidenciado pelas reduções da altura das plantas, da área foliar e do número de folhas verdes, alterando suas características morfológicas, com reflexos diretos sobre o seu desenvolvimento e produto final (SILVA et al., 2012). O estresse hídrico pode elevar 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).

Misra et al. (2020) obtiveram reduções no comprimento de internódio, na altura das plantas, e na área foliar. Os autores afirmaram que essas reduções nas qualidades

morfológicas contribuíram para a obtenção de maiores perdas na produtividade e no rendimento da cultura.

2.4. Irrigação

Atualmente, estudos sobre irrigação estão bem explorados em diversas culturas sob condições edafoclimáticas distintas (MELO et al., 2010; DELAZARI et al., 2017). Apesar disso, a limitação de água que é disponibilizada para a agricultura e os custos de sua manutenção, assim como a preocupação mundial em usar cada vez menos recursos hídricos, torna-se necessária a preocupação em adotar estratégias de manejo (DELAZARI et al., 2017).

A distribuição de água para as culturas pode ser realizada de diversas maneiras, mas 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).

A disponibilidade de água na fase inicial da cultura de cana-de-açúcar é um dos fatores importantes para o estabelecimento durante o estágio vegetativo. A irrigação influencia tanto na fase inicial de crescimento como no início do máximo desenvolvimento da primeira soca da cana-de-açúcar (DANTAS NETO et al., 2006).

Na cana-de-açúcar, a irrigação pode ser praticada de três formas: 1) irrigação de salvação, aplicação de lâminas de 60 a 70 mm na fase inicial de desenvolvimento, para proporcionar melhor brotação e desenvolvimento inicial, em muitos casos aplica-se a fertirrigação utilizando a vinhaça; 2) irrigação suplementar, de forma que garanta total ou parcialmente o suprimento hídrico da cultura (demanda evapotranspirativa), variando de acordo com a região, entre 400 e 750 mm por ciclo de cultivo anual e 3) irrigação deficitária, em que as lâminas variam entre 180 e 300 mm e visam o fornecimento de água inferior a evapotranspiração da cultura (RESENDE et al., 2016). A escolha de qual tipo de lâmina será aplicada depende dos recursos hídricos e monetários disponíveis.

Deste modo, a irrigação localizada, por ter um melhor aproveitamento da água, tem como resultado um crescente índice de adoção por parte dos produtores, sendo definida como o método de irrigação que consiste na aplicação de água no solo próximo as raízes das plantas (TESTEZLAF e MATSURA, 2015).

Entre os principais tipos de irrigação existentes (por sulcos, gotejamento, aspersão e micro aspersão), a irrigação por gotejamento destaca-se como a tecnologia mais racional do setor, pois possibilita maior eficiência no uso da água, menor demanda de energia, aumento nos índices de produtividade e melhoria na qualidade da colheita, além de permitir a aplicação simultânea de fertilizantes.

Conforme Coelho (2007), a irrigação por gotejamento apresenta como características altas frequências e pequenas vazões, em que esses aspectos configuram ao sistema vantagens que influenciam nos principais indicadores de eficiência, se destacando a uniformidade de distribuição de água na parcela irrigada. O dimensionamento hidráulico incorreto do sistema ou problemas na instalação do equipamento no campo, podem ocasionar problemas na uniformidade de distribuição da água. Neste sentido, tal problema é considerado grave, tendo em vista que a limpeza e substituição dos gotejadores entupidos possui um custo elevado.

Phogat et al. (2013) enfatizam que sob condições de déficit hídrico, o método de irrigação por pulsos é uma opção promissora para melhorar a eficiência de irrigação, fornecendo resposta benéfica para culturas hortícolas, afim de manter a produtividade e lucratividade. Para Zin El-Abedin (2006), a aplicação por pulsos da água permite reduzir a taxa média de irrigação para um nível que coincide com condutividade hidráulica do solo e, minimiza a percolação abaixo da zona radicular efetiva.

Os estudos sobre irrigação por gotejamento em cultivos de cana-de-açúcar surgiram na região do Havaí no ano de 1959, na Estação Experimental dos Plantadores de Cana-de-açúcar do Hawaii, onde foram implantados experimentos para testar a viabilidade desse sistema, e a partir da década de 70 iniciaram-se as instalações em plantios comerciais, sendo que no final de 1984 a área irrigada dessa cultura era de 45.400 hectares, e desse total, 34.800 hectares eram irrigados via gotejamento subsuperficial (BUI e KINOSHITA, 1985).

No Brasil, os cultivos de cana-de-açúcar irrigados por gotejamento subsuperficial começaram a surgir no ano de 1996, com a instalação de experimentos da empresa Netafim em parceria com a Copersucar (Cooperativa Brasileira de Açúcar e Etanol) na usina São Martinho, em Pradópolis - SP, que tinha como objetivo avaliar variedades de cana-de-açúcar e suas produtividades potenciais submetidas a diferentes lâminas de irrigação por gotejamento subsuperficial (AGUIAR, 2002).

2.5. Irrigação por pulsos

Diante da busca de métodos eficientes para a atingir uma maior produção e o uso racional dos recursos naturais, especialmente os recursos hídricos que estão cada vez mais escassos e necessitam de uma maior observação. Desta forma, torna-se central o desenvolvimento de tecnologias e técnicas que visem o aumento no rendimento e na qualidade das culturas enquanto utilizam recursos de maneira sustentável. A irrigação por pulsos aparece como forte aditivo para essas necessidades, pois promove um melhor aproveitamento da água aplicada, reduzindo as perdas de água por percolação, e conseqüentemente o volume de água aplicado, sem comprometer a produtividade da cultura (Zamora et al., 2019).

A técnica de irrigação por pulsos foi idealizada inicialmente por Karmeli e Peri (1974), que propuseram o método como meio de alcançar baixas taxas de aplicação de água em um sistema de irrigação com emissores com altas taxas de descargas. O método de pulsos foi definido como uma série de ciclos de tempo de irrigação onde cada ciclo inclui duas fases, sendo uma fase de operação seguida por uma fase de repouso ou não operatória do sistema de irrigação.

Os pulsos e os intervalos de repouso proporcionam uma distribuição heterogênea e mais horizontal da água no perfil do solo, de forma que haja uma redução na percolação de água sob a zona radicular das plantas e que se formem estreitas camadas de solo com teor de umidade diferente, capaz de estimular melhorias nos mecanismos fisiológicos das plantas, resultando em aumento na eficiência do uso da água e de nutrientes e na produtividade das culturas (DODD, 2009; BOYLE et al., 2016; ELHAKIM et al., 2020; PUÉRTOLAS et al., 2020; STALLMANN et al., 2020; HAJIRAD et al., 2021).

Em seu estudo Zamora (2019) avaliou o efeito do gotejamento por pulsos sob cinco lâminas de fertirrigação nas relações hídricas da cultura do coentro, tendo constatado ao final do experimento que a irrigação por pulsos proporcionou resultados superiores para todas as variáveis analisadas. Além disso, o autor evidenciou que com esse tipo de manejo da irrigação foi possível a obtenção de uma economia de 40% de água na produção comercial da cultura avaliada na fase vegetativa.

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.

Elnesr et al. (2015) ao estudarem o efeito da irrigação intermitente no cultivo de tomate na Arábia Saudita, obtiveram melhorias no tamanho, na qualidade nutritiva e no grau de maturação dos frutos. Resultado que corrobora com os estudos de pesquisadores em diferentes regiões do planeta que ao estudarem o uso desta técnica em cultivos agrícolas, observaram que houve efeitos positivos na qualidade do produto final e economia no uso da água.

Para Chai et al. (2016) as fases de secagem e umedecimento na zona radicular que a irrigação por pulsos pode propiciar, melhoram a capacidade das plantas de adquirir nutrientes do solo, pois há um estímulo fisiológico para as plantas garantirem os níveis necessários de nutrientes em seus tecidos vegetais, e também no processo de mineralização do nitrogênio orgânico do solo, aumentando assim o nitrogênio mineral disponível para as plantas.

Em estudos realizados no Egito, Eid et al. (2013), ao observarem as implicações da irrigação por pulsos no cultivo de soja, verificaram efeitos positivos sobre a produção da cultura na utilização da irrigação por pulsos, com melhores desempenhos nas aplicações com 4 e 8 pulsos. Na mesma região, Abdelraouf et al. (2013) estudando a aplicação da irrigação por pulsos no cultivo de batata, observaram que a produtividade da água aumentou com a aplicação de 4 pulsos de irrigação. Estudando os efeitos da irrigação por pulsos na cultura do morango, Cormier et al. (2020) observaram que o crescimento e a produtividade dos morangueiros foram beneficiados por essa técnica.

Diante de evidências, a irrigação pulsada torna-se uma técnica viável e adequada para o uso racional dos recursos hídricos e para implantação de sistemas de cultivos agrícolas fundamentados na conservação e sustentabilidade da produção agrícola. No entanto, mesmo diante dos resultados promissores dessa técnica ainda há a necessidade de estudos que avaliem os efeitos da irrigação por pulsos sobre outras culturas de interesse econômico para as condições do Brasil, a exemplo da cultura da cana-de-açúcar.

2.6. 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 principal causa da redução na assimilação de CO₂ em cana-de-açúcar sob a condição de déficit hídrico é o comprometimento das reações bioquímicas da fotossíntese, afetando a eficiência da conversão de energia luminosa em biomassa. Neste caso, é importante mencionar que o déficit hídrico reduz a produção de biomassa devido à baixa atividade fotossintética do dossel das plantas, que é resultado do comprometimento das atividades metabólicas e conseqüentemente da redução na área foliar (BARBOSA et al., 2015).

Estudos evidenciam que o estresse hídrico severo reduz significativamente a condutância estomática, a transpiração, a 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).

O fechamento dos estômatos compromete a assimilação fotossintética do carbono, podendo afetar o crescimento e a produtividade das culturas ocorrendo, portanto, uma limitação da condutância estomática, o que resulta na diminuição da concentração intracelular de CO₂ (ZIVCAK et al., 2013).

A transpiração das plantas é um componente do mecanismo proteção 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 e TIWARI, 2008; WANG e GARTUNG, 2010).

2.7. Aspectos biométricos e produtivos

A limitação no desenvolvimento é considerada como o primeiro mecanismo de defesa da cultura ao déficit hídrico. As atividades que dependem da consistência celular ficam comprometidas, sendo as primeiras a expressarem resposta à menor disponibilidade de água na planta, pela redução da área foliar e crescimento radicular (TAIZ et al., 2017).

O desenvolvimento da cana-de-açúcar pode ser determinado a partir das análises biométricas, as quais avaliam variáveis como altura da planta, diâmetro do colmo,

densidade de perfilhos, área foliar e acúmulo sequencial de massa seca (MARAFON, 2012). Estas análises permitem estipular a produtividade da cana-de-açúcar em qualquer período da safra e auxiliar na simulação de equações que possam ser utilizadas para diferentes condições hídricas (OLIVEIRA et al., 2016). Além disso, é uma técnica muito utilizada em programas de melhoramento genético, objetivando avaliar variedades mais produtiva, bem como avaliar a correlação fenotípica e/ou genotípica, pois possibilitam a associação entre caracteres, identificando aqueles mais responsivos e que garantem maior produtividade (FERREIRA et al., 2007; LANDELL e BRESSIANI, 2008; OLIVEIRA et al., 2016).

A determinação da área foliar em cultivares de cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o potencial produtivo da planta, pois as folhas são responsáveis pela fotossíntese e produção de carboidratos essenciais ao crescimento (MARAFON, 2012). Entre as fontes que podem alterar a área de captação solar, destacam-se o estresse hídrico e as diferenças genéticas entre as plantas. Estudo realizado por Santana et al. (2010) com variedades comerciais RB demonstrou que a altura, o peso de colmos e a área foliar são características determinantes da produção de cana-de-açúcar.

Em pesquisa realizada por Machado et al. (2009) avaliaram as respostas biométricas ao déficit hídrico, em duas cultivares de cana-de-açúcar, em três diferentes fases fenológicas e verificaram que independentemente da fase em que ocorreu déficit hídrico, a cultivar IACSP 94-2094 mostrou-se tolerante, por manter a produção de fitomassa. Entretanto, a cultivar IACSP 96-2042, apresentou redução na produção de fitomassa e de sólidos solúveis, quando o déficit hídrico ocorreu na fase inicial da cultura. Mauri et al. (2017) em sua pesquisa para quantificar os níveis de déficit hídrico que comprometem o crescimento inicial da cana-de-açúcar exposta a diferentes lâminas de irrigação, verificaram que os valores de déficit hídrico correspondentes a 40 mm de evapotranspiração de referência acumulada (ET_{oac}) são suficientes para reduzir significativamente o crescimento das plantas e o acúmulo de massa seca.

Dessa forma, o conhecimento de como as culturas respondem ao déficit hídrico é um dos importantes requisitos para selecionar a melhor cultivar e as melhores práticas de manejo, objetivando atingir maior produtividade e melhorar a utilização dos recursos naturais (SMIT e SINGELS, 2006). No entanto, são poucos os trabalhos que avaliam o comportamento morfológico da cana-de-açúcar sob diferentes manejos de irrigação utilizando variedades recentemente disponibilizadas aos produtores. Essas informações poderão contribuir com práticas de manejo mais eficazes.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELRAOUF, R. E., ABOU-HUSSEIN, S. D., MARZOUK, N. M., ELBEGAWY, M. K. H. Effect of pulse drip irrigation technology on the economical parameters of potato production under organic agriculture. *Journal of Applied Sciences Research*, v. 9, n. 1, p. 601-611, 2013.

ABREU, M. L., SILVA, M. A., TEODORO, I., HOLANDA, L. A., SAMPAIO NETO, G. D. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. *Bragantia*, v. 72, n. 3, p. 262-270, 2013.

AGUIAR, F. Gotejamento enterrado é novidade na irrigação da cana. *Agriannual 2002*, São Paulo, 2002, 256p.

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

ALMEIDA, A. C. S., SOUZA, J. L., TEODORO, I., BARBOSA, G. V. S., MOURA FILHO, G., FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

ALMEIDA, W. F., LIMA, L. A., PEREIRA, G. M. Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. *Engenharia Agrícola*, v. 35, n. 6, 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, n. 7, p. 476-481, 2018.

ANDRADE, W. J. M. Efeito do gotejamento contínuo e pulsado e lâminas de irrigação sobre aspectos fisiológicos, acúmulo e exportação de nutrientes na cana-de-açúcar. Recife: UFRPE, 2021. 97p. Dissertação de Mestrado.

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, n. 1, p. 1-7, 2010.

BARBOSA, A. M., GUIDORIZI, K. A., CATUCHI, T. A., MARQUES, T. A., RIBEIRO, R. V., SOUZA, G. M. Biomass and bioenergy partitioning of sugarcane plants under water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 37, n. 142, p. 1-8, 2015.

BATISTA, E. L. S., ZOLNIER, S., RIBEIRO, A., LYRA, G. B., SILVA, T. G. F., BOEHRINGER, D. Avaliação do efeito do estresse hídrico no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar usando um sistema automático de fertirrigação. *Engenharia Agrícola*, v. 35, n. 2, p. 215-229, 2015.

BEZERRA, J. D. C., FERREIRA, G. D. G., OLIVEIRA, M. W., CAMPOS, J. M. S., ANDRADE, A. P., NASCIMENTO JÚNIOR, J. R. S. Cana-de-açúcar: melhoramento genético e suas finalidades forrageiras. *Nucleus Animalium*, v. 10, n. 2, p. 131-147, 2018.

BOYLE, R. K. A., MCAINSH, M., DODD, I. C. Daily irrigation attenuates xylem abscisic acid concentration and increases leaf water potential of *Pelargonium × hortorum* compared with infrequent irrigation. *Physiologia Plantarum*, v. 158, n. 1, p. 23-33, 2016.

BUI, W., KINOSHITA, C. M. A irrigação por gotejamento no Havaí atendeu às expectativas? In: Congresso Internacional De Irrigação Por Gotejamento. 3 Ed. Fresno: American Society of Agricultural Engineers, 1985, p. 84-90.

CARDOZO, N. P., BORDONAL, R. O., SCALA JÚNIOR, N. L. Sustainable intensification of sugarcane production under irrigation systems, considering climate interactions and agricultural efficiency. *Journal of Cleaner Production*, v. 204, p. 861-871, 2018.

CHAI, Q., GAN, Y., ZHAO, C., XU, H. L., WASKOM, R. M., NIU, Y., SIDDIQUE, K. H. M. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 36, p. 3-17, 2016.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A., ABREU, H. M. C., ARRUDA, P., BESPALHOK FILHO, J. C., BURNQUIST, W. L., CRESTE, S., FERRO, L. C. J. A., FIGUEIRA, A. V. O., FILGUEIRAS, T. S., GOSSI-DE-SÁ, M., GUZZO, E. C., HOFFMAN, H. P., LANDELL, M. G. A., MACEDO, N., MATSUOKA, S., REINACH, F. C., ROMANO, E., SILVA, W. J., SILVA FILHO, M. C., ULIAN, E. C. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A Reference Study for the Regulation of Genetically Modified Cultivars in Brazil. *Plant Biology*, v. 4, n. 1, p. 62-89, 2011.

COELHO, R. D. Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil. Piracicaba: UNESP, 2007. 192p. Tese Doutorado.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira, cana-de-açúcar – safra 2021/22. CONAB, Brasília v. 7, n. 3, p. 1-60. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em 5 de Dezembro de 2023.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira, cana-de-açúcar – safra 2021/22. CONAB, Brasília v. 8, n. 4, p. 1-60. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em 16 de Agosto de 2022.

CORMIER, J., DEPARDIEU, C., LETOURNEAU, G., BOILY, C., GALLICHAND, J., CARON, J. Tensiometer- based irrigation scheduling and water use efficiency of field-grown strawberries. *Agronomy Journal*, v. 112, p. 2581-2597, 2020.

CRB - Commodity Research Bureau. Yearbook 2015: The Book of Record for Commodity Markets. Fundamental Market Research, Chicago, 2015.

DANTAS NETO, J., FIGUEREDO, J. L. C., FARIAS, C. H. DE A., AZEVEDO, H. M., AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DELAZARI, F. T., FERREIRA, M. G., SILVA, G. H., DARIVA, F. D., FREITAS, D. S., NICK, C. Eficiência no uso da água e acúmulo de matéria na batata-doce em função de lâminas de irrigação. *Irriga*, v. 22, n. 1, p. 115-128, 2017.

DIAS, H. B. Intercomparação de modelos de simulação da cana-de-açúcar e seu uso na avaliação da quebra de produtividade e dos impactos da irrigação em diferentes regiões do Brasil. 2016. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP. 2016.

DIOLA, V., SANTOS, F. Fase de cultivo. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. Bioenergia, açúcar e álcool-tecnologia e perspectivas. Viçosa, MG, 2010. Cap. 2, p.25-49.

DODD, I. C. Rhizosphere manipulations to maximize “crop per drop” during deficit irrigation. *Journal of Experimental Botany*, v. 60, n. 1, p. 2454-2459, 2009.

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, n. 5, p. 249-261, 2013.

ELHAKIM, A. A., ELMEADAWY, M., EL-SYBAEE, I., EGELA, M. Effect Use of Pulsed Deficit Drip Irrigation for Tomato Crop in Greenhouse powered by solar energy. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, v. 38, n. 1, p. 1-10, 2020.

ELNESR, M. N., ALAZBA, A. A., ZEIN, A. I., EL-ADL, M. M. Evaluating the effect of three water management techniques on tomato crop. *PLoS ONE*, v. 10, n. 6, p. 1-17, 2015.

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, n. 3, p. 205-212, 2007.

FARAG, S. E., SILVA, M A., GARCIA, N. S., ENCISO, J., SILVA, J. An agronomic approach to screen sugar and energy cane genotypes for drought tolerance. *African Journal of Agricultural Research*, v. 13, n. 23, p. 1220-1226, 2018.

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, n. 1, p. 29-34, 2015.

FERRARO, D. O., RIVERO, D. E., GHERSA, C. M. An analysis of the factors that influence sugarcane yield in Northern Argentina using classification and regression trees. *Field Crops Research*, v. 112, n. 3, p. 149-157, 2009.

FERREIRA, F. M., BARROS, W. S., SILVA, F. L., BARBOSA, M. H. P., CRUZ, C. D., 50 BASTOS, I. T. Relações fenotípicas e genotípicas entre os componentes de produção em canade-açúcar. *Bragantia*, v. 66, n. 4, p. 605-610, 2007.

GILBERT, R. A., SHINE JUNIOR, J. M., MILLER, J. D., RICE, R. W., RAINBOLT, C. R. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. *Field Crops Research*, v. 95, n. 3, p. 156-170, 2006.

GONÇALVES, E. R., FERREIRA, V. M., SILVA, J. V., ENDRES, L., BARBOSA, T. P., DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de canade-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 4, p. 378-386, 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, n. 10, p. 1144-1152, 2008.

HAJIRAD, I., MIRLATIFI, S. M., DEHGHANISANIJ, H., MOHAMMADI, S. Effects of different pulsed drip irrigation levels on the yield and water productivity of silage maize. *Water and Irrigation Management*, v. 67, n. 11, p. 87-98, 2021.

HEERDEN, P. D. R. V., DONALDSON, R. A., WATT, D. A., SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. *Journal of Experimental Botany*, v. 61, n. 11, p. 2877-2887, 2010.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field crops research*, v. 89, n. 1, p. 107-122, 2004.

JAISWAL, D., SOUZA, A. P., LARSEN, S., LEBAUER, D. S., MIGUEZ, F. E., SPAROVEK, G., BOLLERO, G., BUCKERIDGE, M. S., LONG, S. P. Brazilian sugarcane ethanol as an expandable green alternative to crude oil use. *Natures Climate Change*, v. 7, p. 788-792, 2017.

KARMELI, O., PERI, G. Basic Principles of Pulse Irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v. 100, n. 3, p. 309-319, 1974.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo 52 varietal. In: Dinardo-Miranda, L. L.; Vasconcelos, A. C. M.; Landell, M. G. A. (Eds). *Canade-açúcar*. Campinas: IAC, p.101-155, 2008.

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

MACHADO, R. S., RIBEIRO, R. V., MARCHIORI, P. E. R., MACHADO, D. F. S. P., MACHADO, E. C. LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MARAFON, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2012. 29p. ISSN 1678-1953.

- MARENCO, R. A., LOPES, N. F. (2005). Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa MG: UFV 451p.
- MATSUOKA, S., GARCIA, A. A. F., ARIZONO, H. Melhoria da cana-de-açúcar. In: Borém, A. (Ed.). Melhoria de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 2005. p. 205-251. ISSN: 1678-1953.
- MAURI, R., COELHO, R. D., FRAGA JUNIOR, E. F., BARBOSA, F. S., LEAL, D. P. V. Water relations at the initial sugarcane growth phase under variable water deficit. Engenharia Agrícola, v. 37, n. 2, p. 268-276, 2017.
- MELO, A. S., SUSSUNA, J. F., FERNANDES, P. D., BRITO, M. E. B., SUSSUNA, A. F., OLIVEIRA, A. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.
- MENEZES, S. M., SILVA, G. F., SILVA, M. M., MORAIS, J. E. F., SANTOS JÚNIOR, J. A., MENEZES, D., ROLIM, M. M. Continuous and pulse fertigation on dry matter production and nutrient accumulation in coriander. Revista Dyna, v. 87, n. 212, p. 18-25, 2020.
- MIRANDA, A. A. História da cana-de-açúcar. Ed. Komedi. Campinas, São Paulo, 2008. 168p.
- MISRA, V., SOLOMON, S., MALL, A. K., PRAJAPATI, C. P., HASHEM, A., ABD-ALLAH, E. F., ANSARI, M. I. Morphological assessment of water stressed sugarcane: A comparison of waterlogged and drought affected crop. Saudi Journal of Biological Sciences, v. 27, n. 5, p. 1228-1236, 2020.
- MONTEITH, J., UNSWORTH, M. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, 1990, 291p.
- MORAES, M. A. F. D., BACCHI, M. R. P., CALDARELLI, C. E. Accelerated growth of the sugarcane, sugar, and ethanol sectors in Brazil (2000 e 2008): Effects on municipal gross domestic product per capita in the south-central region. Biomass and Bioenergy, v. 91, n. 1 p. 116-125, 2016.

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, n. 3, p. 48-57, 2016.

OLIVEIRA, A. R., BRAGA, M. B., SANTOS, B. L. S., WALKER, A. M. Biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no Vale do Submédio São Francisco. *Revista Energia na Agricultura*, v. 31, n. 1, p. 48-58, 2016.

OLIVEIRA, E. C. A., FREIRE, F. J., OLIVEIRA, A. C., SIMÕES NETO, D. E., ROCHA, A. T., CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011.

PHOGAT, V., SKEWES, M. A., MAHADEVAN, M., COX, J. W. Evaluation of soil plant system response to pulsed drip irrigation of an almond tree under sustained stress conditions. *Agricultural Water Management*, v. 118, n. 1, p. 1-11, 2013.

PUÉRTOLAS, J., ALBACETE, A., DODD, I. C. Irrigation frequency transiently alters whole plant gas exchange, water and hormone status, but irrigation volume determines cumulative growth in two herbaceous crops. *Environmental and Experimental Botany*, v. 176, n. 2, p. 104-110, 2020.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 185, n. 2, p. 83-89, 2000.

RESENDE, R., AMORIM, J. R. A., PACHECO, E., MENESES, T., CARVALHO, T. B. Épocas de plantio e demanda de irrigação da cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 26 p.

RODRIGUES, G. S. S. C., ROSS, J. L. S. Inicia-se o percurso da cana-de-açúcar no Brasil. In: *A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográficas, histórica e ambiental* [online]. Uberlândia: EDUFU, 2020. p.13-66.

SANTANA, M. S., OLIVEIRA, F. J., MELO, L. J. O. T. Correlações genéticas em alguns clones RB e em variedades de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 4, p. 460-467, 2010.

- SANTOS, L. C., COELHO, R. D., BARBOSA, F. S., LEAL, D. P. V., FRAGA JÚNIOR, E. F., BARROS, T. H. S., LIZCANO, J. V., RIBEIRO, N. L. Influence of deficit irrigation on accumulation and partitioning of sugarcane biomass under drip irrigation in commercial varieties. *Agricultural Water Management*, v. 221, n. 1, p. 322-333, 2019.
- 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, n. 2, p. 158-169, 2014.
- SEGATO, S. V., MATTIUZ, C. F. M., MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: Segato, S. V., Pinto, A. S., Jendiroba, E., Nóbrega, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Livro Ceres, 2006. Cap. 3, p. 19-36.
- 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. 100p. Tese de Doutorado.
- SILVA, J. P. N., SILVA, M. R. N. Noções da cultura da cana-de-açúcar. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás; Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 105p.
- 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, L. M. C. Biometria e produtividade da cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento subsuperficial pulsado. Recife: UFRPE, 2022. 58 p. Dissertação de Mestrado.
- 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, n. 1, p. 104-118, 2012.
- SINCLAIR, T. R., GILBERT, R. A., PERDOMO, R. E., SHINE JR., J. M., POWELL, G., MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. *Field Crops Research*, v. 88, n. 5, p. 171-178, 2004.

SMIT, M. A., SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, v. 98, n. 2, p. 91-97, 2006.

STALLMANN, J., SCHWEIGER, R., PONS, C. A. A., MÜLLER, C. Wheat growth, applied water use efficiency and flag leaf metabolome under continuous and pulsed deficit irrigation. *Scientific Reports*, v. 10, p. 101-1012, 2020.

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

TARUMOTO, M. B., ARANA, A. R. A., FERREIRA, T. E., SILVA, M. A. Impactos positivos da cultura da cana-de-açúcar no Brasil. *Journal of Agronomic Sciences*, v. 4, n. 1, p. 526-545, 2015.

TESTEZLAF, R., MATSURA, E. E. *Engenharia de Irrigação: tubulações e acessórios*. 1ª ed. São Paulo: UNICAMP, 2015. 153p.

TOPPA, E. V. B., JADOSKI, C. J., JULIANETTI, A., HULSHOF, T., ONO, E. O., RODRIGUES, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v. 3, n. 2, p. 215-221, 2010.

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, n. 1, p. 65-75, 2014.

WANG, D., GARTUNG, J. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 11, p. 1787-1794, 2010.

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, n. 3, p. 22-28, 2019.

ZIN EL-ABEDIN, T. K. Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. *Irrigation and Drainage*, 2006. Disponível em: <http://www.mjae.eg.net/pdf/2006/nov/19.pdf>. Acesso: 11 de agosto de 2023.

ZIVCAK, M., BRESTIC, M., BALATOVA, Z., DREVENAKOVA, P., OLISOVSKA, 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, n. 1, p. 529-546, 2013.

CAPÍTULO II

PULSOS E INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL SOBRE AS TROCAS GASOSAS DA CANA-DE-AÇÚCAR

PULSOS E INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL SOBRE AS TROCAS GASOSAS DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO - A irrigação pulsada é uma alternativa para o manejo da irrigação capaz de reduzir os efeitos deletérios do estresse hídrico e, conseqüentemente, beneficiar as trocas gasosas da cultura da cana-de-açúcar. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do número e intervalos de pulsos de irrigação aplicados por gotejamento subsuperficial pulsada nas trocas gasosas da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em campo na Estação Experimental do Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC), no período de outubro de 2022 a outubro de 2023. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial $4 \times 2 + 1$, sendo o primeiro fator constituído 4 diferentes números de pulsos (2, 3, 4 e 5 pulsos), o segundo fator por 2 intervalos de aplicação entre os pulsos (20 e 40 minutos) e o terceiro fator composto por um tratamento testemunha (irrigação aplicada de forma contínua), com 4 repetições. A cultivar de cana-de-açúcar avaliada foi a RB 041443. 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: concentração Interna de CO_2 (C_i), condutância estomática (gs) mol, transpiração (E), fotossíntese líquida (A), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) e eficiência instantânea de carboxilação (A/ C_i). As melhores respostas para a fotossíntese líquida, condutância estomática e eficiência intrínseca do uso da água foram obtidas com a aplicação de 4 pulsos de irrigação. Os maiores valores de transpiração e eficiência instantânea de carboxilação foram obtidos com o intervalo de 40 minutos. O número e intervalos de irrigação não influenciaram na concentração interna de carbono e eficiência instantânea do uso da água.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., manejo de irrigação, RB041443.

PULSES AND INTERVALS OF SUBSURFACE DRIP IRRIGATION ON THE GAS EXCHANGE OF SUGARCANE

ABSTRACT - Pulsed irrigation is an alternative for irrigation management capable of reducing the harmful effects of water stress and, consequently, benefiting gas exchange in sugarcane crops. The objective of this work was to evaluate the effect of the number and intervals of irrigation pulses applied by pulsed subsurface drip on gas exchange in sugarcane. The experiment was conducted in the field at the Carpina Sugarcane Experimental Station (EECAC), from October 2022 to October 2023. The experimental design used was randomized blocks, in a $4 \times 2 + 1$ factorial arrangement, the first factor consisting of 4 different numbers of pulses (2, 3, 4 and 5 pulses), the second factor consisting of 2 application intervals between pulses (20 and 40 minutes) and the third factor consisting of a control treatment (irrigation applied continuously), with 4 repetitions. The sugarcane cultivar evaluated was RB 041443. The following variables were analyzed 330 days after planting, between 11 am and 1 pm with an Infrared Gas Analyzer (IRGA LI-6400): Internal concentration of CO₂ (C_i), Stomatal conductance (g_s) mol, transpiration (E), net photosynthesis (A), instantaneous water use efficiency (A/E), intrinsic water use efficiency (A/g_s) and instantaneous water use efficiency (A/g_s) carboxylation (A/C_i). The best responses for net photosynthesis, stomatal conductance and intrinsic water use efficiency were obtained with the application of 4 irrigation pulses. The highest values of transpiration and instantaneous carboxylation efficiency were obtained with an interval of 40 minutes. The number and intervals of irrigation did not influence the internal carbon concentration and instantaneous efficiency of water use.

Keywords: *Saccharum* spp., irrigation management, RB041443.

1. 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, 2022). Godoi Neto (2018), afirma que no Estado de Pernambuco, grande parte da produção ocorre em áreas costeiras. Nessas áreas, apesar dos altos índices pluviométricos anuais, à má distribuição das chuvas em determinados períodos do ano proporciona a necessidade da prática da irrigação para obtenção de rendimentos satisfatórios.

O desenvolvimento de sistemas de produção agrícola intensivo e sustentável enfrentam barreiras que impedem as culturas de atingirem seu potencial produtivo. Dentre essas barreiras, o déficit hídrico é um dos fatores limitantes que mais afetam o rendimento das culturas em todo o mundo (ENDRES et al., 2019; OGBAGA et al., 2020).

Como melhoramento da técnica da irrigação por gotejamento superficial no que abrange 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 utilizada dentro do manejo de irrigação, que proporciona melhor aproveitamento da água aplicada, reduzindo as perdas de água por percolação. (ZAMORA et al., 2019).

Essa técnica foca no fracionamento da lâmina de irrigação diária, aplicada em curtos períodos cíclicos de molhamento e repouso, o que promove uma melhor distribuição da umidade do solo ao longo do tempo. Alguns estudos apontam o uso da irrigação por pulsos como uma possível estratégia para mitigar os efeitos nocivos do déficit hídrico, devido a melhorias na distribuição e manutenção da umidade no perfil do solo ao longo do dia (EID et al., 2013; PHOGAT et al., 2013; ABD-ELHAKIM, 2019).

O déficit hídrico pode 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 (TAIZ et al., 2017). 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.

Desse modo, diante da busca por resultados referentes ao estudo da irrigação pulsada, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da utilização de diferentes números de pulsos e intervalos de irrigação por gotejamento subsuperficial nas trocas gasosas da cana-de-açúcar na Zona da Mata Norte de Pernambuco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no quarto ciclo de produção da cana-de-açúcar, conduzido em campo na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC), no município de Carpina-PE, localizada nas coordenadas geográficas: 7° 51' 24.31'' S e 35° 14' 16.97'' W. O solo da área experimental é caracterizado como um Argissolo amarelo distrófico abrupto (Embrapa, 2013).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como As Megatérmico Tropical (tropical úmido) (Alvares et al., 2014). A precipitação média dos últimos 52 anos é de 1.149 mm, sendo que a maior concentração ocorre entre o outono e o inverno, apresentando uma média de 199,6 mm no mês mais chuvoso (junho). As temperaturas anuais máxima e mínima do ar são 29,1 e 21,8 °C, respectivamente, a umidade relativa do ar média de 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, 2020).

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados, em um arranjo fatorial de 4 x 2 + 1, sendo o primeiro fator constituído por 4 diferentes números de pulsos (2, 3, 4 e 5 pulsos), o segundo fator por 2 intervalos de aplicação entre os pulsos (20 e 40 minutos) e o terceiro fator composto por um tratamento testemunha (irrigação aplicada de forma contínua), com irrigação em 100% da ETc, com 4 repetições, totalizando 36 unidades experimentais.

Todos os tratamentos pulsados foram irrigados com a lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura. A duração de cada pulso para os tratamentos pulsados foi definida após o cálculo diário da lâmina de irrigação necessária pela cultura.

Cada parcela experimental foi constituída por quatro sulcos combinados (dupla fileira de plantas) de 7 m de comprimento, espaçados por 1,4 m entre sulcos e 0,6 m entre linhas de plantas, resultando em 56 m² por unidade experimental, no qual os dois sulcos combinados do centro de cada parcela (20 m²), desprezando-se 1 m das extremidades de cada linha, foram considerados como área útil para realização das análises (Figura 1).

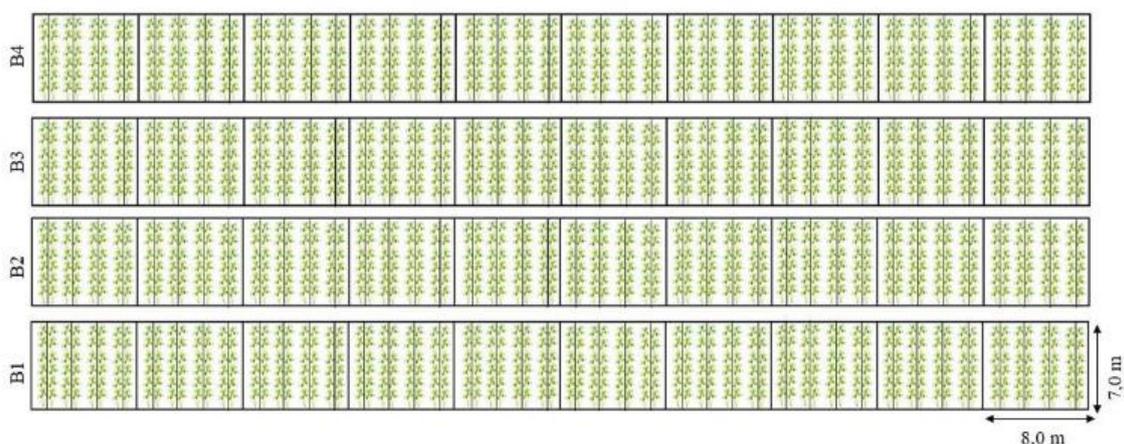


Figura 1. Croqui da área experimental do local de realização do experimento (SILVA, 2022).

Visando-se assegurar a uniformidade de rebrota e o estabelecimento das plantas de cana-de-açúcar após o corte, a diferenciação dos tratamentos foi realizada somente aos 45 dias após o corte (DAC). Durante esse período foram realizadas irrigações uniformes em todos os tratamentos.

O experimento foi realizado durante o período de outubro 2022 a outubro de 2023. A cana-de-açúcar plantada foi a variedade RB041443 desenvolvida pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) através do Programa de Melhoramento Genético de Cana de Açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, Carpina 2023.

Camada m	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO													
	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	SB	CTC	m	V	M.O	
			-----				cmol _c dm ⁻³ -----					---	%-----	g kg ⁻¹
0,0 - 0,2	5,86	21	2,58	1,34	0,23	0,11	0	4,14	4,27	8,41	0	50,76	23,8	
0,2 - 0,4	5,93	20	2,53	1,34	0,22	0,08	0	3,98	4,16	8,14	0	51,09	21,9	

SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; m: Saturação por alumínio; V: Saturação por Bases; M.O: Matéria Orgânica.

A recomendação de adubação foi baseada na análise química do solo (Tabela 1) considerando a demanda nutricional da cultura. Por meio de fertirrigação foi aplicado 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio utilizando como fonte a ureia, e 110 kg ha⁻¹ de potássio tendo como fonte o cloreto de potássio. Os fertilizantes aplicados via água de irrigação, foram disponibilizados entre os meses de março a agosto de 2023, sendo realizada de forma

fracionada, uma aplicação por mês. Foi realizado um suprimento nutricional com o fertilizante mineral misto do fabricante BIOGROW de nome comercial BIOSTIM COMPLEX com garantias de magnésio ($23,1 \text{ g L}^{-1}$), boro ($2,8 \text{ g L}^{-1}$), cobre ($2,5 \text{ g L}^{-1}$), ferro (25 g L^{-1}), manganês ($21,8 \text{ g L}^{-1}$), molibdênio ($0,5 \text{ g L}^{-1}$) e zinco ($21,8 \text{ g L}^{-1}$). A recomendação do produto para cana-de-açúcar, segundo o fabricante é de 2 a 3 L ha^{-1} . Realizou-se uma aplicação aos 230 DAC na dose de 2 L ha^{-1} via aplicação foliar.

O monitoramento de pragas e doenças durante a realização do experimento foi realizado de acordo com os métodos usados pelos produtores da região, através de avaliações periódicas no campo, tendo sido avaliado 10 plantas por fileira, visando-se o monitoramento e a incidência de pragas e doenças, com fins a prevenir casos que pudessem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento subsuperficial composto por fitas gotejadoras (DN 16 mm) com emissores do tipo *in line* autocompensantes e antidrenantes, espaçados a 0,50 m e saída cilíndrica (tipo PC/AS, vazão de 1 L/h), alocadas no solo a uma profundidade de 0,20 m. O sistema foi composto ainda por uma eletrobomba centrífuga de eixo horizontal (3,5 CV), um sistema de filtragem e retro lavagem com dois filtros de areia, um sistema de injeção da fertirrigação composto por um manômetro glicerinado, bico injetor venturi (1,2") e um filtro de tela (cesta 1" de 200 mesh), e um conjunto de 10 registros de esfera para o controle do fluxo de água para cada tratamento de forma individual.

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 determinada com auxílio de manômetro de glicerina.

O tempo de irrigação para cada tratamento foi determinado diariamente, levando em consideração a lâmina bruta de irrigação (LB), obtida pela relação entre a ETc e a eficiência de aplicação (94%) do sistema de irrigação, obtida por meio de um teste de uniformidade de distribuição de água, realizado segundo a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1974).

A irrigação foi realizada diariamente de acordo com a necessidade de água pela cultura obtida com base na evapotranspiração da cultura (ETc) e nos tratamentos avaliados, segundo a equação abaixo:

$$ETc = ECA \times Kp \times Kc$$

Em que:

ETc = Evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

ECA = Evaporação do tanque classe A, mm dia⁻¹;

Kp = Coeficiente do tanque classe A, adimensional e,

Kc = Coeficiente de cultivo, adimensional.

Os valores de Kp foram obtidos a partir dos dados de velocidade do vento, umidade relativa do ar e evaporação do tanque classe A, instalado próximo à área experimental, que apresenta vegetação rasteira contendo bordadura de 10 m, conforme metodologia proposta por Doorenbos e Pruitt (1977). Os valores de Kc que foram adotados no experimento segue a recomendação de Doorenbos e Kassam (1994) para os estádios de desenvolvimento da planta, visando-se determinar a evapotranspiração da cultura em cada um deles (Tabela 2).

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

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

Fonte: Adaptado de Doorenbos & Kassam (1994)

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas por meio do Analisador Portátil de Gás Infravermelho (Infla-Red Gas Analyzer –IRGA) (Figura 2) modelo LI 6400 XT (LI COR) sob radiação fotossinteticamente ativa mantida em 2500 μmol m⁻² s⁻¹.



Figura 2. 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.

Seguindo a proposta de Kuijper (DILLEWIJN, 1952), as medidas foram realizadas em três plantas por parcela, sendo estas na terceira folha com bainha visível (Figura 3) conhecida como folha TVD (Top Visible Dewlap) ou folha +3 (Kuijper). Essa folha é considerada fisiologicamente madura e não sombreada. As leituras foram feitas entre as 11 e 13 horas, horário de sol intenso e grande demanda evapotranspirométrica, para evitar instabilidades causadas por variações rápidas da radiação solar.

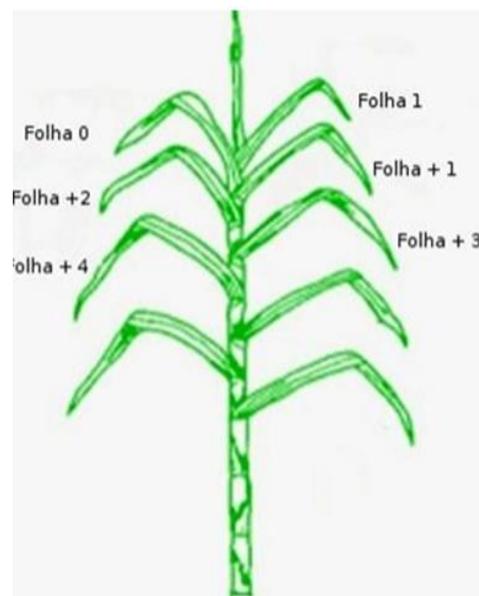


Figura 3. Esquema de numeração de folhas pelo sistema de Kuijper. Fonte: Dillewijn (1952).

Visando-se a avaliação das trocas gasosas da cultura, foram analisados os seguintes parâmetros fisiológicos: concentração interna de CO_2 (C_i) $\mu\text{mol mol}^{-1}$, condutância estomática (g_s) $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, transpiração (E) $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de H_2O , fotossíntese líquida (A) $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, eficiência instantânea do uso da água (A/E) $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 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 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 (“pulsos de irrigação (2, 3, 4 e 5 pulsos)” e “intervalos de irrigação (20 e 40 minutos)”), bem como, para suas interações, utilizando-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Quando constatado efeito significativo para o teste F, os dados relacionados aos diferentes números de pulsos foram desdobrados por meio da análise de regressão ($p < 0,05$). Já os dados relacionados aos intervalos 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.

Também foram realizadas análises de contrastes visando-se a comparação entre o tratamento testemunha e alguns tratamentos de interesse.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se, por meio do resumo da análise de variância (Tabela 3) que a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s) e a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) foram influenciadas de forma isolada pelos pulsos e pelos intervalos de aplicação, a transpiração (E) foi influenciada apenas pelos intervalos de aplicação. A concentração interna de CO_2 (C_i) e a eficiência instantânea do uso da água (A/E) não sofreram influência pelos fatores estudados, a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) foi influenciada apenas pelos intervalos de aplicação da irrigação.

Tabela 3. Resumo da Análise de variância das variáveis: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência instantânea do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos de irrigação e diferentes intervalos de irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAC.

FV	GL	Quadrado Médio						
		A	E	gs	Ci	A/E	A/g _s	A/Ci
PULSOS (PUL)	3	26,41*	0,3067 ^{ns}	0,001*	1612,1 ^{ns}	0,696 ^{ns}	3053,9**	0,015 ^{ns}
INTERVALOS (INT)	1	68,71**	3,1187**	0,019**	1739,0 ^{ns}	0,8172 ^{ns}	4038,6**	0,103*
PUL x INT	3	1,79 ^{ns}	0,2473 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	1952,8 ^{ns}	3,28 ^{ns}	792,2 ^{ns}	0,026 ^{ns}
BLOCO	3	10,98	0,3581	0,0004	407,9	0,145	90,65	0,023
ERRO	21	7,65	0,2191	0,0004	743,8	0,519	324,8	0,015
CV	%	15,55	14,12	16,69	33,72	13,19	11,6	47,88

FV: Fator de variação; GL: Graus de liberdade; ^{ns} não significativo; ** e * : significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente.

O maior valor de fotossíntese líquida (A) (Figura 4) constatado para as plantas de cana-de-açúcar foi de 19,66 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ obtido com a aplicação de 3,53 pulsos de irrigação (≈ 4 pulsos), para os intervalos de aplicação, o intervalo de 40 minutos proporcionou maiores valores para a variável, com uma máxima de 19,26 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ e um incremento de 17,94% quando comparado ao intervalo de aplicação de 20 minutos.

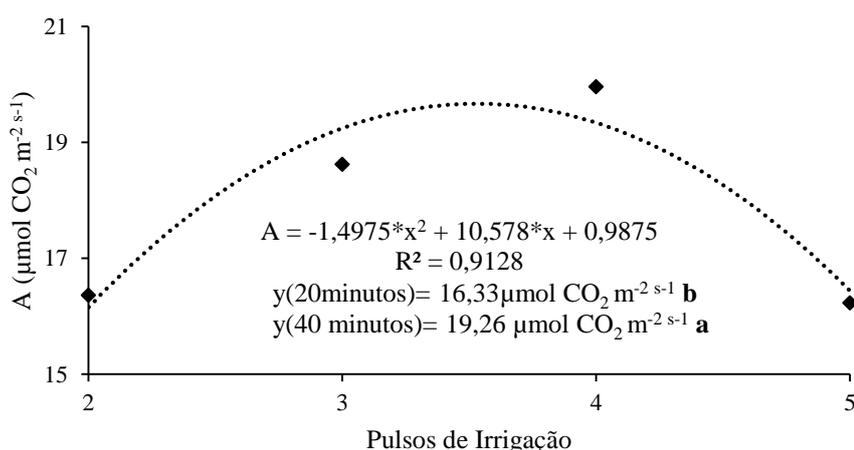


Figura 4. Fotossíntese líquida (A) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos de irrigação e intervalos de aplicação da irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAP. ** e * Significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

O maior valor de fotossíntese líquida obtido com 3,53 pulsos de irrigação (≈ 4 pulsos), pode estar relacionado com a eficiência deste tipo de manejo de irrigação em manter o solo úmido por mais tempo e a velocidade de absorção da água pela cana-de-açúcar. 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).

Quanto aos intervalos de aplicação, o intervalo de 40 minutos se mostrou mais eficiente, evidenciando que uma irrigação com pausas mais longas entre a aplicação dos pulsos aumenta a taxa de fotossíntese líquida da planta. Esse menor índice no intervalo de 20 minutos evidencia a necessidade de uma maior pausa entre as aplicações para que absorção da água pela planta seja mais eficiente, o manejo da irrigação é comprometido por aplicar-se uma quantidade de água em excesso, ocasionando em uma série de fatores que inibem o crescimento da planta, podendo-se citar dentre esses fatores a 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 e GUALTIERI, 2017; OLIVEIRA et al., 2008). 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).

O maior valor de fotossíntese líquida apresentado neste trabalho com a aplicação de 3,53 pulsos (≈ 4 pulsos), está condizente com aqueles encontrados por Gonçalves et al. (2010) em plantas de cana-de-açúcar irrigadas sem limitação hídrica, os quais encontraram valores variando entre 19 e 24 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

De acordo com Basu et al. (2016), a mudança 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 fotossíntese líquida e condutância estomática, sendo a taxa de fotossíntese líquida reduzida de forma linear ou curvilínea à medida que ocorre o fechamento dos estômatos.

Verifica-se, por meio da Figura 5, que os dados da variável condutância estomática se ajustaram ao modelo quadrático, tendo o maior valor obtido sido de 0,137 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ correspondente à aplicação de 3,6 pulsos de irrigação (≈ 4 pulsos). Foi observado diferença significativa da irrigação com intervalos de 20 minutos em relação a de 40

minutos, tendo a irrigação de 40 minutos proporcionado um maior valor de condutância estomática, com incremento de 40% quando comparado com a irrigação realizada com 20 minutos.

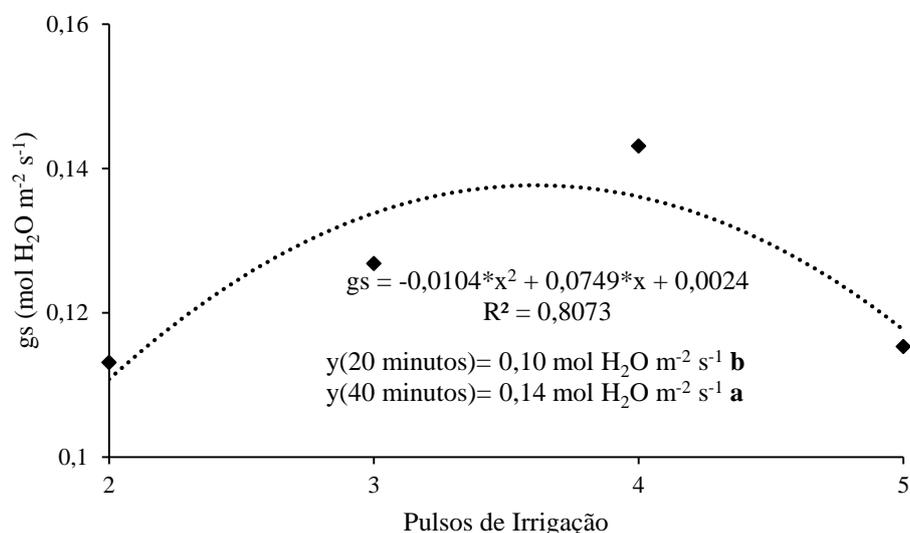


Figura 5. Condutância estomática (gs) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos de irrigação e intervalos de aplicação de irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAP. ** e * Significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott- Knott.

O fechamento das vias do estômato 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).

Segundo Taiz et al. (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. Neste sentido, destaca-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). 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.

A avaliação dos maiores valores de condutância estomática para a irrigação aplicada com intervalos de 40 minutos (Figura 5) 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 a obtenção desses maiores valores constatados para a variável. De acordo com Dlamini (2021), a disponibilidade de água para as plantas é um dos fatores fundamentais e responsáveis pelo processo de regulação da abertura ou fechamento dos estômatos.

Há uma grande variação na abertura e fechamento dos estômatos quando se compara as variedades de cana-de-açúcar, o que tem grande importância nas diferenças de regulações das trocas gasosas. Desta forma, as plantas podem apresentar uma distante variação na condutância estomática devido à resposta precoce das alterações do ambiente (SMIT; SINGELS, 2006).

A irrigação com 3,6 pulsos (≈ 4 pulsos), contribuiu para a manutenção de bons valores de condutância estomática na cana-de-açúcar, ressaltando os benefícios deste número de pulsos de irrigação sobre essa variável. Stallmann et al. (2020), afirmam que a frequência dos eventos de irrigação modifica o crescimento das plantas e pode contribuir para maiores rendimentos.

O efeito isolado do intervalo de irrigação sobre a transpiração (E) das plantas pode ser verificado por meio da Figura 6. O maior valor constatado para a variável ($3,62 \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido com a aplicação do intervalo de 40 minutos de irrigação.

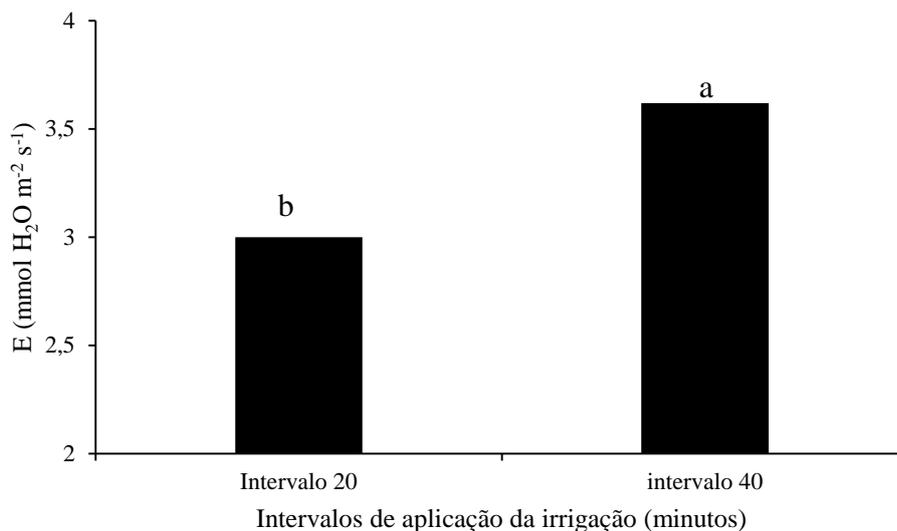


Figura 6. Transpiração (E) da cana-de-açúcar em função dos intervalos de aplicação da irrigação (20 e 40 minutos) em Carpina - PE, aos 330 DAP. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os intervalos de aplicação de irrigação (20 e 40 minutos) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

A tendência da E assemelha-se aquela observada para a fotossíntese líquida e condutância estomática, cuja redução no tempo de intervalo de irrigação e, conseqüentemente, reduções na disponibilidade hídrica no tempo, reduziu a E nas plantas de cana-de-açúcar. Segundo Inman-Bamber e Smith (2005) a redução da condutância estomática é uma importante estratégia da cana-de-açúcar para evitar a desidratação das folhas. Analisando os resultados para a A, E e gs, nota-se uma íntima relação entre elas quando não há uma grande disponibilidade de água ou uma irregular distribuição dessa água na zona rizosférica da cultura, o que provavelmente tem relação com o fechamento estomático e a limitação dessas variáveis. Taiz et al. (2017) relatam que taxas mais altas de condutância estomática, transpiração e fotossíntese levam a um aumento significativo na produção das culturas.

Inicialmente, o fechamento estomático pode ser uma boa alternativa para a planta pois responde, rapidamente, contra a perda excessiva de água evitando a desidratação foliar, mas quando se prolonga torna-se ineficiente, pois acaba interferindo no fluxo difusivo de CO₂, o que em seguida interrompe os processos de divisão e alongamento celular, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento das plantas (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005; INMAN-BAMBER et al., 2012; DLAMINI, 2021).

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).

Pode-se observar por meio da Figura 7, o efeito do número de pulsos de irrigação e os intervalos de irrigação sobre a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s). O maior valor encontrado para a variável foi 173,66 μmol CO₂ mol H₂O, quando irrigado com 3,45 pulsos de irrigação (≈ 4 pulsos), quando comparado os intervalos de irrigação, constatou-se que a irrigação com 40 minutos de repouso mostrou um melhor desempenho com 15,33% maior do que com 20 minutos.

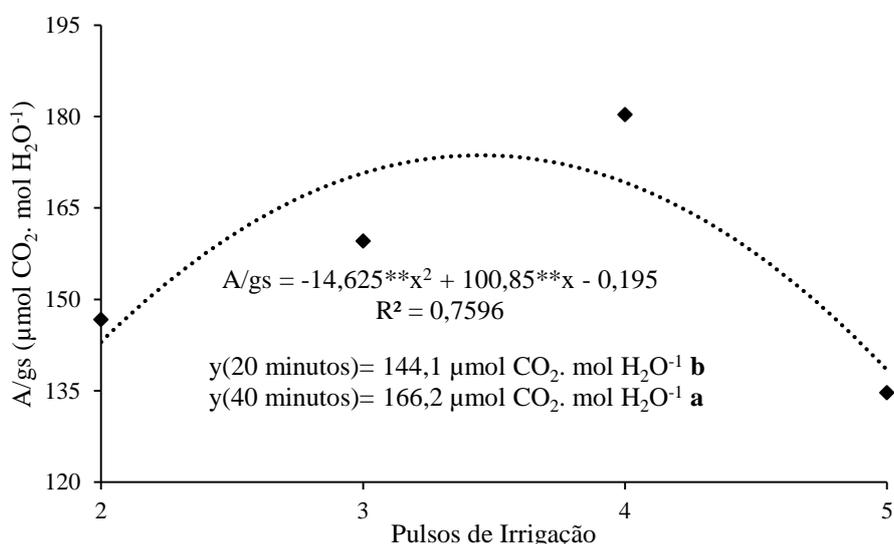


Figura 7. Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos de aplicação da irrigação e intervalos de irrigação em Carpina - PE, aos 330 DAP. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

A menor eficiência intrínseca do uso da água constatado para a irrigação com um menor intervalo de aplicação evidencia que durante o processo fotossintético as plantas submetidas a esse intervalo de irrigação fixaram uma menor quantidade de carbono por unidade de água transpirada em comparação às plantas submetidas a 40 minutos de repouso. Observa-se, também, que os valores da eficiência intrínseca do uso da água das plantas irrigadas com um número de pulsos próximos 4 (3,45 pulsos) (Figura 7)

acompanharam os maiores valores de condutância estomática verificada para esses números de pulsos de irrigação (Figura 6).

Constatou-se que o maior resultado para a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) ($0,316 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido com a aplicação da irrigação com 40 minutos de intervalo (Figura 8), indicando que este tempo de intervalo 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 de 20 minutos de repouso.

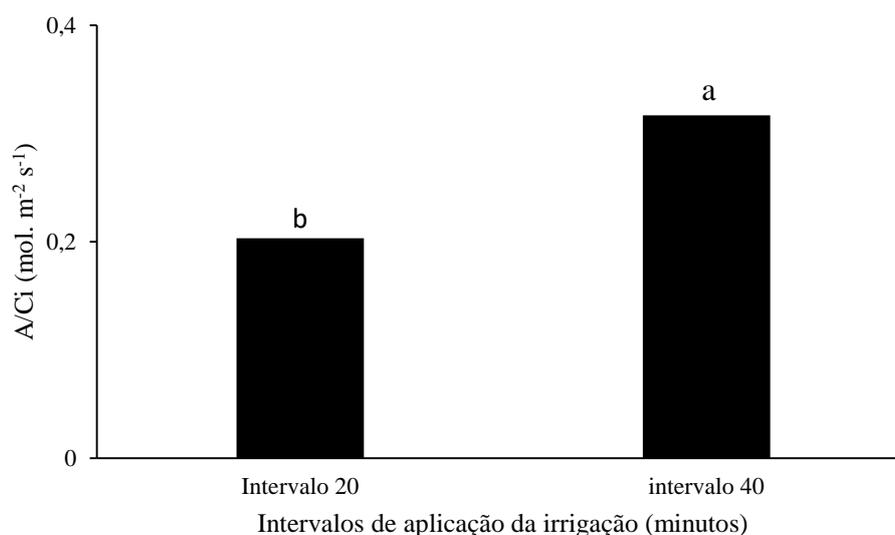


Figura 8. Eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) da cana-de-açúcar em função dos intervalos de aplicação da irrigação (20 e 40 minutos) em Carpina - PE, aos 330 DAP. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Esses resultados são de grande importância tendo em vista que a melhora da assimilação de carbono fotossintético em função de estratégias de manejo da irrigação pode vir a auxiliar no aumento do rendimento das culturas em locais onde as condições abióticas se tornem limitantes.

De acordo com a análise dos contrastes ortogonais (Tabela 4), verifica-se que, a fotossíntese líquida, a transpiração e a condutância estomática foram influenciadas significativamente pelos intervalos de irrigação aplicados, constatando-se que qualquer um dos intervalos de irrigação aplicados proporciona melhores resultados para as variáveis em detrimento do tratamento testemunha (aplicação de 100% da ETc de forma contínua). Verifica-se, ainda, que as variáveis concentração interna de CO_2 (C_i),

eficiência instantânea de uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) não foram influenciadas de forma significativa pelos contrastes testados.

Tabela 4. Resumo da análise de variância dos contrastes ortogonais para as variáveis da fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO₂ (C_i), eficiência instantânea de uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) da cana-de-açúcar (3^o ciclo) submetida a diferentes pulsos de irrigação (2, 3, 4 e pulsos), intervalos de aplicação da irrigação (20 e 40 minutos), e um tratamento testemunha o qual o manejo da irrigação foi realizado de forma contínua e com a aplicação de 100% da ET_c.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO						
		A	E	g _s	C _i	A/E	A/g _s	A/C _i
INT 20 x TEST	1	1,487*	0,047*	0,004*	792,4 ^{ns}	0,099 ^{ns}	5,95 ^{ns}	0,185 ^{ns}
INT 40 x TEST	1	8,736*	0,083*	0,0035*	1220,4 ^{ns}	0,031 ^{ns}	4,32 ^{ns}	0,054 ^{ns}
PUL x TEST	1	1,419*	0,001*	0,007*	817,04*	0,054 ^{ns}	5,96 ^{ns}	0,105 ^{ns}
ERRO	12	40,2	2,42	0,005	302,4	2,67	10,5	0,45
CV	%	5,73	5,82	4,03	11,3	5,85	5,69	15,9

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

Ainda de acordo com a Tabela 4, observa-se que o contraste pulsos de irrigação (PUL) versus testemunha (TEST) afetou, de forma significativa, a fotossíntese líquida (A), a transpiração (E), a condutância estomática (g_s) e a concentração interna de CO₂ (C_i). Esses resultados evidenciam que qualquer número de pulsos dentre os avaliados na presente pesquisa já proporciona valores superiores para as variáveis supracitadas (A, E, g_s e C_i) superiores àqueles obtidos com a aplicação da irrigação contínua com a lâmina de 100% da ET_c.

De acordo com os resultados obtidos para as trocas gasosas da cana-de-açúcar nesta pesquisa e dos contrastes ortogonais testados, pode-se enfatizar que a conservação da umidade do solo por mais tempo ao longo do dia em função da aplicação dos pulsos de irrigação e dos intervalos fixos de 40 minutos entre as aplicações desses pulsos, favoreceu as atividades fotossintéticas das plantas e contribuiu de forma significativa para a sinalização do controle estomático e dos processos metabólicos das mesmas. Além disso, por meio dos contrastes ortogonais testados, pôde-se evidenciar a importância não só da definição do número correto de pulsos como também do intervalo entre eles frente ao manejo da irrigação realizado de forma convencional.

4. CONCLUSÕES

As melhores respostas fisiológicas para a fotossíntese líquida, condutância estomática e a eficiência intrínseca do uso da água foram obtidas com a aplicação de 4 pulsos de irrigação;

Os maiores valores de transpiração e eficiência instantânea de carboxilação foram evidenciados com o intervalo de 40 minutos de aplicação da irrigação;

O número e intervalos de irrigação não influenciaram na concentração interna de carbono e eficiência instantânea do uso da água;

A fotossíntese líquida, a transpiração e a condutância estomática apresentaram melhores valores quando utilizado os intervalos de aplicação da irrigação e a irrigação pulsada comparado com a irrigação contínua.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-ELHAKIM, A. I. Soil conditioner effect on soil wetting patterns under pulsed drip irrigation system. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, v. 36, n. 2, p. 473-492, 2019.

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, n. 1, p. 711-728, 2014.

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, n. 1, p. 1-7, 2010.

BASU, S., RAMEGOWDA, V., KUMAR, A., PEREIRA, A. Plant adaptation to drought stress. *F1000Research*, v. 5, n. 3, p. 1-10, 2016.

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, n. 2, p. 105-132.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. Quarto Levantamento: Safra 2021/2022. CONAB, Brasília, Brasil, v. 8, n. 4, 2022.

- DILLEWIJN, C. V. Botany of sugarcane. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.
- DLAMINI, P. J. Drought stress tolerance mechanisms and breeding effort in sugarcane: A review of progress and constraints in South Africa. *Plant Stress*, v. 2, n. 7, p. 10-27, 2021.
- DOORENBOS, J. Y., PRUITT, W. O. Crop water requirements. FAO Estudio de Riego y Drenaje, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, n. 24, 1977. 144p.
- DOORENBOS, J., KASSAN, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, (FAO. Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 33), 1994. 306p.
- 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, n. 5, p. 249-261, 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- ENDRES, L., SANTOS, C. M., SILVA, J. V., BARBOSA, G. V. S., SILVA, A. L. J., FROEHLICH, A., E TEIXEIRA, M. M. Inter-relationship between photosynthetic efficiency, $\Delta^{13}C$, antioxidant activity and sugarcane yield under drought stress in field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 205, n. 5, p. 433-446, 2019.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, 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. 2018. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE. 2018.
- 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, n. 4, p. 378-396, 2010.

INMAN-BAMBER, N. G., LAKSHMANAN, P., PARK, S. Sugarcane for water-limited environments: Theoretical assessment of suitable traits. *Field Crops Research*, v. 134, p. 95-104, 2012.

INMAN-BAMBER, N. G., SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, v. 92, n. 3, p. 185-202, 2005.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normal Climatológica do Brasil 1961-1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>> Acesso em: 12 de Novembro de 2022.

KELLER, J., KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, v. 17, n. 4, 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, n. 2, p. 231-238, 2003.

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.

OGBAGA, C. C., ATHAR, H. R., AMIR, M., BANO, H., CHATER, C. C. C., JELLASON, N. P. Clarity on frequently asked questions about drought measurements in plant physiology. *Scientific African*, v. 8, p. 00405, 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, n. 5, 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, n. 1, p. 181-191, 2017.

- PHOGAT, V., SKEWES, M. A., MAHADEVAN, M., COX, J. W. Evaluation of soil plant system response to pulsed drip irrigation of an almond tree under sustained stress conditions. *Agricultural Water Management*, v. 118, p. 1-11, 2013.
- 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*, 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, n. 2, p. 158-169, 2014.
- SILVA, E. M. P., ANDRADE JÚNIOR, A. S., BASTOS, E. A., RIBEIRO, V. Q. Produtividade de colmos e eficiência do uso da água em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial. *Irriga*, v. 24, n. 1, p. 162-176, 2019.
- SILVA, L. M. C. Biometria e produtividade da cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento subsuperficial pulsado. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2022.
- 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. 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, n. 1, p. 104-118, 2012.
- SMIT, M. A., SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, v. 98, n. 2-3, p. 91-97, 2006.
- 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, n. 3, p. 118-122, 2012.

STALLMANN, J., SCHWEIGER, R., PONS, C. A. A., MÜLLER, C. Wheat growth, applied water use efficiency and flag leaf metabolome under continuous and pulsed deficit irrigation. *Scientific Reports*, v. 10, p. 101-1012, 2020.

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

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, n. 1, p. 65-75, 2014.

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, n. 1, 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

PULSOS E INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O CRESCIMENTO E A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

PULSOS E INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O CRESCIMENTO E A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – Os impactos negativos que o déficit hídrico pode gerar na cultura da cana-de-açúcar, devido a uma má distribuição de chuva durante o ciclo, pode acarretar em uma queda de produtividade e sustentabilidade do canavial. Deste modo, um bom manejo da irrigação se torna fundamental para sustentar a produção. Contudo, a água de irrigação deve ser gerida de forma adequada para que haja a diminuição de impactos ambientais. Neste contexto, a irrigação pulsada surge como alternativa para a diminuição dos efeitos deletérios do déficit hídrico. Assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar os efeitos de diferentes números de pulsos e intervalos de aplicação da irrigação sobre os parâmetros de crescimento e de produção da cana-de-açúcar na Mata Norte de Pernambuco. O experimento foi conduzido em campo na Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC), no período de outubro de 2022 a outubro de 2023. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 4 x 2 + 1, sendo o primeiro fator constituído por 4 diferentes números de pulsos (2, 3, 4 e 5 pulsos), o segundo por intervalos de aplicação entre os pulsos (20 e 40 minutos) e o terceiro fator sendo composto por um tratamento testemunha (irrigação aplicada de forma contínua), com 4 repetições. A cultivar de cana-de-açúcar avaliada foi a RB041443. O crescimento das plantas de cana-de-açúcar foi acompanhado por meio da realização das seguintes medições realizadas aos 180, 220, 260, 300, 330 e 360 dias após o corte (DAC): altura (AL), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF), sendo essas medições realizadas em 10 plantas por parcela, previamente identificadas, escolhidas de forma aleatória, na área útil de cada parcela. No final do ciclo foi coletada a massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade. O número e intervalo de pulsos de irrigação se mostrou significativo para a altura, diâmetro do colmo, área foliar e índice de área foliar, resultando em maiores valores quando foi utilizado 4 pulsos e 40 minutos de intervalo. A matéria fresca e seca da parte aérea e do colmo foram influenciadas positivamente com melhores números quando utilizado 4 pulsos de irrigação. A irrigação de forma pulsada e com intervalos proporcionou maior rendimento para a produtividade de cana-de-açúcar, em relação ao tipo de aplicação da irrigação de forma contínua.

Palavras-chave: Manejo de irrigação, cana-de-açúcar, déficit hídrico.

IRRIGATION PULSES AND INTERVALS ON THE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF SUGAR CANE

ABSTRACT - The negative impacts that water deficit can generate on sugarcane cultivation, due to a poor distribution of rain during the cycle, can lead to a drop in productivity and sustainability of the sugarcane field. Therefore, good irrigation management becomes essential to sustain production. However, irrigation water must be managed appropriately to reduce environmental impacts. In this context, pulsed irrigation appears as an alternative to reduce the harmful effects of water deficit. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of different numbers of pulses and irrigation application intervals on the growth and production parameters of sugarcane in the North Forest of Pernambuco. The experiment was conducted in the field at the Carpina Sugarcane Experimental Station (EECAC), from October 2022 to October 2023. The experimental design used was randomized blocks, in a $4 \times 2 + 1$ factorial arrangement, the first factor being 4 different numbers of pulses (2, 3, 4 and 5 pulses), the second factor will be application intervals between pulses (20 and 40 minutes) and the third factor was composed of a control treatment (irrigation applied from continuous way), with 4 repetitions. The sugarcane cultivar evaluated was RB 041443. The growth of the sugarcane plants was monitored by carrying out the following measurements carried out at 180, 220, 260, 300, 330 and 360 days after cutting (DAC): height (AL), stem diameter (DC), leaf area (AF) and leaf area index (LAI), these measurements being carried out on 10 plants per plot, previously identified, chosen at random, in the useful area of each plot, at the end of the cycle, the fresh mass of the aerial part (MFPA), dry mass of the aerial part (MSPA) and productivity were collected. The number and interval of irrigation pulses proved to be significant for height, stem diameter, leaf area and leaf area index, resulting in higher values when 4 pulses and 40 minutes apart were used. The fresh and dry matter of the aerial part and stem were positively influenced with better numbers when using 4 irrigation pulses. The irrigation in a pulsed manner and at intervals provided greater yield for sugarcane productivity, in relation to the type of continuous irrigation application.

Keywords: Irrigation management, sugar cane, water deficit.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de açúcar (*Saccharum* spp.) destaca-se no cenário agrícola mundial devido a sua alta capacidade produtiva de biomassa e bioenergia. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2018), a produção mundial de cana-de-açúcar atinge cerca de 1,9 bilhão de toneladas, sendo o Brasil, atualmente, o maior produtor e exportador mundial de açúcar com 677.614.000 toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023).

A produtividade da cana-de-açúcar é limitada por vários fatores ambientais (MOHANRAJ et al., 2021), sendo a insuficiência hídrica o estresse abiótico mais severo, responsável pela inibição do crescimento e desenvolvimento das plantas. O manejo da 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, sendo evidenciado a irrigação por gotejamento.

Diante da grande escala de irregularidade pluviométrica, que ocasiona déficit hídrico e ameaça a produtividade dos canaviais, a irrigação é o principal meio de garantir o suprimento hídrico das plantas. Na cana-de-açúcar, os benefícios da irrigação, além de contribuir para o aumento da produtividade, garante a manutenção da produção nos canaviais devido a estabilidade da produção e nos custos associados ao cultivo (CARDOZO et al., 2018; DIAS e SENTELHAS, 2019; MARIN et al., 2020). Porém, há a necessidade de garantir o uso racional dos recursos hídricos, visando incrementos na quantidade e na qualidade dos produtos, bem como a sustentabilidade das áreas irrigadas.

A irrigação por gotejamento apresenta uma maior eficiência hídrica do que outros métodos de irrigação devido a uma menor evaporação e percolação; portanto, o consumo de água pode ser minimizado (YANG et al. 2020). 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 (ALMEIDA, 2012; PRATS e PICÓ, 2016).

Estudos demonstram que a irrigação por pulsos pode contribuir para o aumento da eficiência do uso da água (ZAMORA et al., 2021); e para o aumento da produtividade e da qualidade das culturas (ZAMORA et al., 2019; CORMIER et al., 2020).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do uso de diferentes números de pulsos e intervalos de aplicação de irrigação por gotejamento subsuperficial sobre os parâmetros de crescimento e de produção da cana-de-açúcar na Mata Norte de Pernambuco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no quarto ciclo de produção da cana-de-açúcar, conduzido em campo na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC), no município de Carpina-PE, localizada nas coordenadas geográficas: 7° 51' 24.31'' S e 35° 14' 16.97'' W. O solo da área experimental é caracterizado como um Argissolo amarelo distrófico abrupto (Embrapa, 2013).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como As Megatérmico Tropical (tropical úmido) (ALVARES et al., 2014). A precipitação média dos últimos 52 anos é de 1.149 mm, sendo que a maior concentração ocorre entre o outono e o inverno, apresentando uma média de 199,6 mm no mês mais chuvoso (junho). As temperaturas anuais máxima e mínima do ar são 29,1 e 21,8 °C, respectivamente, a umidade relativa do ar média de 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, 2022).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 4 x 2 + 1, sendo o primeiro fator constituído por 4 diferentes números de pulsos (2, 3, 4 e 5 pulsos), o segundo fator por 2 intervalos de aplicação entre os pulsos (20 e 40 minutos) e o terceiro fator composto por um tratamento testemunha (irrigação aplicada de forma contínua), com 4 repetições. Todos os tratamentos pulsados foram irrigados com a lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura. A duração de cada pulso para os tratamentos pulsados foi definida após o cálculo diário da lâmina de irrigação necessária pela cultura.

Cada parcela experimental foi constituída por quatro sulcos combinados (dupla fileira de plantas) de 7 m de comprimento, espaçados por 1,4 m entre sulcos e 0,6 m entre linhas de plantas, resultando em 56 m² por unidade experimental, no qual os dois sulcos

combinados do centro de cada parcela (20 m²), desprezando-se 1 m das extremidades de cada linha, foram considerados como área útil para realização das análises (Figura 1).

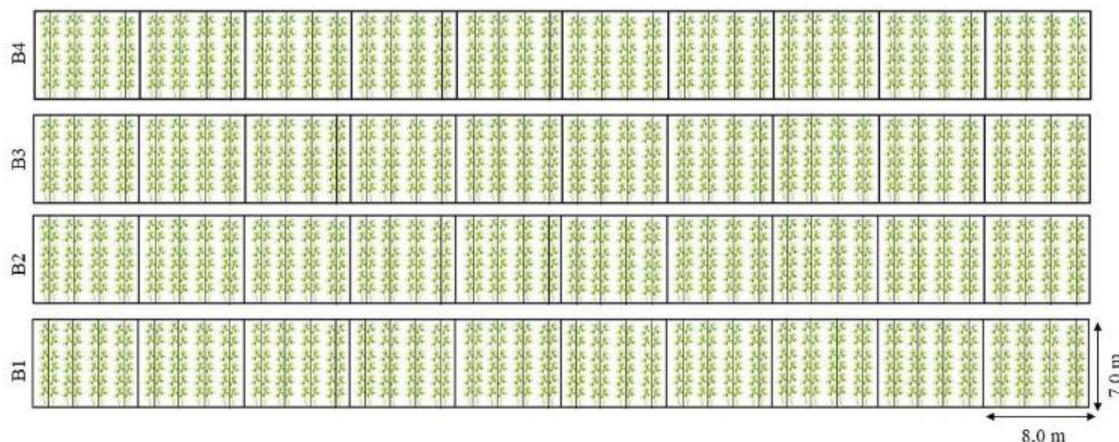


Figura 1. Croqui da área experimental do local de realização do experimento (SILVA, 2022).

Visando-se assegurar a uniformidade de rebrota e o estabelecimento das plantas de cana-de-açúcar após o corte, a diferenciação dos tratamentos foi realizada somente aos 45 dias após o corte (DAC). Durante esse período foram realizadas irrigações uniformes em todos os tratamentos.

O experimento foi realizado durante o período de outubro 2022 a outubro de 2023. A cana-de-açúcar plantada foi a variedade RB041443 desenvolvido pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) através do Programa de Melhoramento Genético de Cana de Açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental, Carpina 2023.

Camada	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO												
	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	-----				cmol _c dm ⁻³	-----			--- %-----	g kg ⁻¹	
0,0 - 0,2	5,86	21	2,58	1,34	0,23	0,11	0	4,14	4,27	8,41	0	50,76	23,8
0,2 - 0,4	5,93	20	2,53	1,34	0,22	0,08	0	3,98	4,16	8,14	0	51,09	21,9

SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; m: Saturação por alumínio; V: Saturação por Bases; M.O: Matéria Orgânica

A recomendação de adubação foi baseada na análise química do solo (Tabela 1) considerando a demanda nutricional da cultura. Por meio de fertirrigação foi aplicado 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio utilizando como fonte a ureia, e 110 kg ha⁻¹ de potássio tendo como fonte o cloreto de potássio. Os fertilizantes aplicados via água de irrigação, foram

disponibilizados entre os meses de março a agosto de 2023, sendo realizada de forma fracionada, uma aplicação por mês. Foi realizado um suprimento nutricional com o fertilizante mineral misto do fabricante BIOGROW de nome comercial BIOSTIM COMPLEX com garantias de magnésio (23,1 g L⁻¹), boro (2,8 g L⁻¹), cobre (2,5 g L⁻¹), ferro (25 g L⁻¹), manganês (21,8 g L⁻¹), molibdênio (0,5 g L⁻¹) e zinco (21,8 g L⁻¹). A recomendação do produto para cana-de-açúcar, segundo o fabricante é de 2 a 3 L ha⁻¹. Realizou-se uma aplicação aos 230 DAC na dose de 2 L ha⁻¹ via aplicação foliar.

O monitoramento de pragas e doenças durante a realização do experimento foi realizado de acordo com os métodos usados pelos produtores da região, através de avaliações periódicas no campo, tendo sido avaliado 10 plantas por fileira, visando-se o monitoramento e a incidência de pragas e doenças, com fins a prevenir casos que pudessem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento subsuperficial composto por fitas gotejadoras (DN 16 mm) com emissores do tipo *in line* autocompensantes e antidrenantes, espaçados a 0,50 m e saída cilíndrica (tipo PC/AS, vazão de 1 L/h), alocadas no solo a uma profundidade de 0,20 m. O sistema foi composto ainda por uma eletrobomba centrífuga de eixo horizontal (3,5 CV), um sistema de filtragem e retro lavagem com dois filtros de areia, um sistema de injeção da fertirrigação composto por um manômetro glicerinado, bico injetor venturi (1,2”) e um filtro de tela (cesta 1” de 200 mesh), e um conjunto de 10 registros de esfera para o controle do fluxo de água para cada tratamento de forma individual.

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 determinada com auxílio de manômetro de glicerina.

O tempo de irrigação para cada tratamento foi determinado diariamente, levando em consideração a lâmina bruta de irrigação (LB), obtida pela relação entre a ETc e a eficiência de aplicação (94%) do sistema de irrigação, obtida por meio de um teste de uniformidade de distribuição de água, realizado segundo a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1974).

A irrigação foi realizada diariamente de acordo com a necessidade de água pela cultura obtida com base na evapotranspiração da cultura (ETc) e nos tratamentos avaliados, segundo a equação abaixo:

$$ETc = ECA \times Kp \times Kc$$

Em que:

ETc = Evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

ECA = Evaporação do tanque classe A, mm dia⁻¹;

Kp = Coeficiente do tanque classe A, adimensional e,

Kc = Coeficiente de cultivo, adimensional.

Os valores de Kp foram obtidos a partir dos dados de velocidade do vento, umidade relativa do ar e evaporação do tanque classe A, instalado próximo à área experimental, que apresenta vegetação rasteira contendo 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) para os estádios de desenvolvimento da planta, visando-se determinar a evapotranspiração da cultura em cada um deles (Tabela 2).

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

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

Fonte: Adaptado de Doorenbos & Kassam (1994)

O crescimento das plantas de cana-de-açúcar foi acompanhado por meio da realização das seguintes medições realizada aos 180, 220, 260, 300, 330 e 360 dias após o corte (DAC): altura (AL), diâmetro do colmo (DC), número de folhas verdes (NFV), comprimento (CF+3) e largura da folha (LF+3), área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF), sendo essas medições realizadas em 10 plantas por parcela, previamente identificadas escolhidas de forma aleatória na área útil de cada parcela.

Para a determinação da AL (cm) utilizou-se uma fita métrica, e mediu-se da superfície do solo até a altura da intersecção do limbo com a bainha da folha +1, que é primeira folha de cima para baixo que se apresenta inserida com a aurícula bem visível,

de acordo com Kuijper (DILLEWIJN, 1952). As medidas do DC (cm) foram obtidas na altura correspondente a 1/3, a partir da base do colmo, com auxílio de paquímetro.

As medições do CF+3 (cm) e LF+3 (cm) foram feitas na terceira folha +3 levando em consideração os extremos com o auxílio de fita métrica. Em cada avaliação, foi feita a contagem do NFV (número de folhas verdes planta⁻¹), sendo consideradas como folhas verdes, aquelas totalmente expandidas com pelo menos 20% de área foliar verde, a partir da folha +1. Os dados de CF+3, LF+3 e NFV foram utilizados para a determinação da área foliar verde por planta (AF), de acordo com a metodologia proposta por Hermann e Câmara (1999), conforme a equação a seguir:

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (NFV + 2)$$

Em que: AF = Área foliar, m²;

C = Comprimento da folha, m;

L = Largura da folha, m;

0,75 = Fator de correção para área foliar da cultura, adimensional

2 = Fator de ajuste referente as folhas que não estão completamente expandidas, adimensional;

NFV = Número de folhas verdes, unidade.

O IAF foi determinado pela relação entre AF da planta e a superfície do solo por ela ocupada, seguindo a metodologia de Watson (1947):

$$IAF = AF / AOPS$$

Em que:

IAF = Índice de área foliar, m² folhas m⁻² de solo;

AF = Área foliar, m²;

AOPS = Área ocupada pela planta no solo, m².

A massa fresca e seca da parte aérea e do colmo foram determinados a partir da pesagem na área e secagem do material em estufa, respectivamente. Os dados de produtividade foram determinados a partir da pesagem em balança no momento da colheita, pesando os colmos das duas fileiras duplas centrais, em seguida extrapolando-se para área de um hectare.

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 “pulsos de irrigação (2, 3, 4, 5 pulsos)”, “intervalos de irrigação (20 e 40 minutos)” e “tempo (180, 220, 260, 300, 330, 360 dias)”, bem como, para suas interações, utilizando-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). As variáveis biométricas coletadas ao longo do ciclo de cultivo da cana-soca foram avaliadas por meio da utilização do modelo de parcela subdividida no tempo.

Quando constatado efeito significativo para o teste F, os dados relacionados aos diferentes números de pulsos e tempo foram desdobrados por meio da análise de regressão ($p < 0,05$). Já os dados relacionados aos intervalos de aplicação de irrigação foram comparados mediante teste de médias de Scott-Knott ($p < 0,05$). A testemunha foi comparada com alguns tratamentos de interesse por meio de contrastes ortogonais.

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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se, por meio do Resumo da Análise de Variância (Tabela 3) que a altura (AL) e o índice de área foliar foram influenciados significativamente de forma isolada pelos dias após o corte (DAC), pulsos de irrigação (PUL) e intervalos de irrigação (INT); O diâmetro sofreu influência da DAC e PUL.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das variáveis: altura de planta (AL), diâmetro (DIAM), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar submetida a diferentes tempos de avaliação, diferentes pulsos de irrigação e diferentes intervalos de aplicação de irrigação, em Carpina – PE.

FV	Quadrado médio				
	GL	AL	DIAM	AF	IAF
DIAS APÓS O CORTE (DAC)	5	31,8009**	0,2495**	0,1184**	6,284**
PULSOS (PUL)	3	0,0818**	0,1896**	0,0021 ^{ns}	0,624*
INTERVALOS (INT)	1	0,1862**	0,0575 ^{ns}	0,0686**	3,7199**
DAC*PUL	15	0,1239 ^{ns}	0,0472 ^{ns}	0,0063 ^{ns}	0,2454 ^{ns}
DAC*INT	5	0,0640 ^{ns}	0,0305 ^{ns}	0,0114**	0,5224 ^{ns}
PUL*INT	3	0,0264 ^{ns}	0,0152 ^{ns}	0,0065 ^{ns}	0,2453 ^{ns}
DAC x PUL x INT	15	0,08164 ^{ns}	0,0152 ^{ns}	0,0028 ^{ns}	0,1792 ^{ns}
Bloco	3	0,046	0,04	0,005	0,4341
Erro	156	0,0165	0,0253	0,002	0,2067
CV	%	3,27	6,53	11,65	12,87

FV: Fator de variação; GL: Graus de liberdade; ^{ns} não significativo; ** e * : significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente.

Para a variável altura de planta (Figura 2A) em função dos dias após o corte verifica-se, que o maior valor obtido foi de 4,31 m, o qual foi alcançado aos 335 dias. Já para a altura de planta em função do número de pulsos avaliados verifica-se que o maior valor para a variável foi obtido com a aplicação de 3,97 pulsos de irrigação (\approx 4 pulsos) (Figura 2B). Com relação aos intervalos de aplicação da irrigação verifica-se que o intervalo de 40 minutos proporcionou um incremento de 1,54% em relação ao intervalo de 20 minutos (Figura 2B).

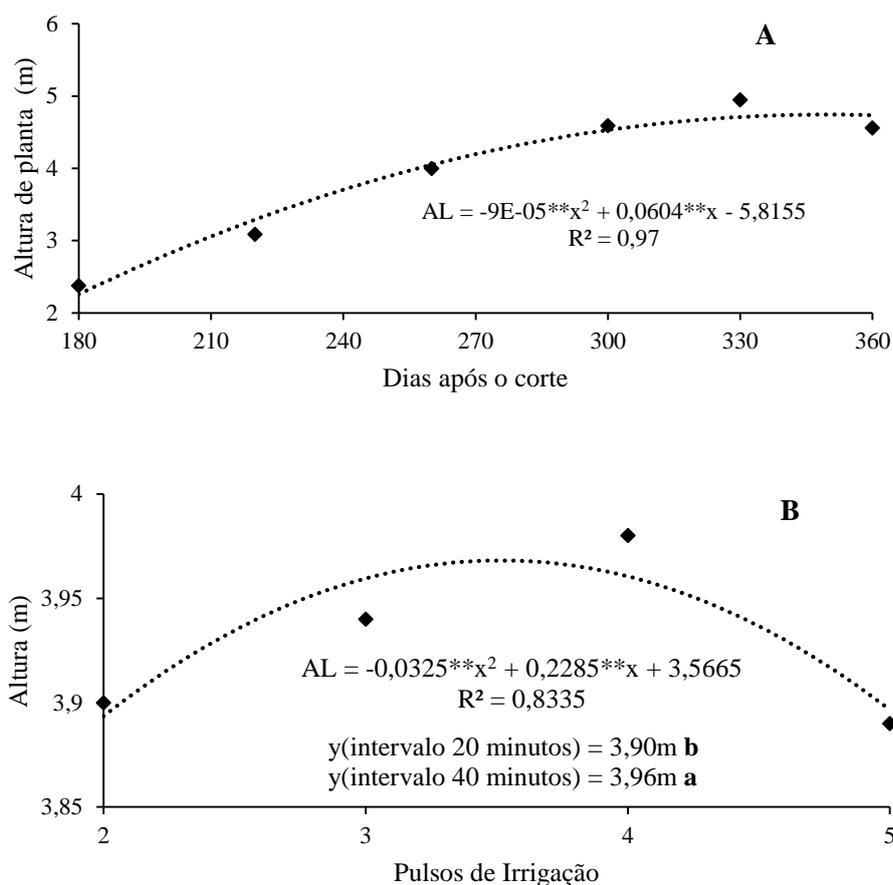


Figura 2. Altura de planta (AL) da cultura da cana-de-açúcar em função dos dias após o corte (A), diferentes pulsos de irrigação e intervalos de irrigação (B), em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

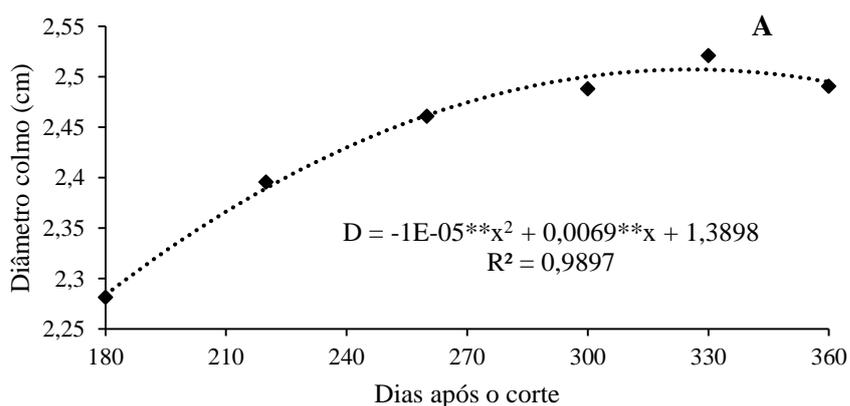
A manutenção de água no solo é de suma importância para o crescimento das plantas, pois em condições de baixo teor as relações hídricas das plantas são comprometidas, limitando o crescimento e o desenvolvimento dos tecidos, assim como constatado neste estudo. A esse respeito, Singh et al. (2018) afirmam que o crescimento das plantas depende da divisão e do crescimento celular, que é altamente dependente das relações hídricas da mesma.

Neste estudo, o crescimento do colmo se estendeu ao longo do tempo, até próximo ao período de colheita. Segundo Allen et al. (1998), o crescimento intenso dos colmos ocorre entre 135 e 300 DAC, quando geralmente a cana-de-açúcar entra na fase de maturação e o crescimento do colmo tende a ser inibido. Silva et al. (2014), verificaram crescimento exponencial na altura de plantas ao longo do ciclo na cana-de-açúcar, sendo

os picos de incrementos obtidos aos 240 e 300 dias após o plantio (DAP). A taxa de crescimento não ocorre de forma uniforme, sendo mais lenta no início do ciclo, seguindo com o crescimento gradual até atingir um ponto máximo seguida de uma queda gradual até o final do ciclo (VAN DILLEWIJN, 1952).

O melhor desempenho da altura de planta quando irrigada com intervalo de irrigação de 40 minutos em detrimento do intervalo de 20 minutos (Figura 2B), está associado a uma melhor distribuição e disponibilidade de água no solo durante o dia. Seguindo o raciocínio, Boyle et al. (2016) afirmam que, tanto o volume total de água quanto a frequência de irrigação são críticos para o crescimento das plantas. De acordo com Singh et al. (2018), o crescimento das plantas depende da divisão e do crescimento celular, os quais são dependentes das relações hídricas da mesma. De acordo com Silva et al. (2020), o crescimento da cana-de-açúcar é afetado pelo déficit hídrico devido este provocar restrições tanto na divisão como no alongamento celular em cana-de-açúcar.

Por meio da Figura 3A, pode-se observar a resposta do crescimento do diâmetro do colmo em função dos dias de avaliação. Verifica-se que a variável atingiu seu maior valor (2,58 cm) aos 345 DAC. Ao avaliar a aplicação dos pulsos de irrigação sobre o crescimento do diâmetro do colmo das plantas (Figura 3B), verifica-se que o maior valor para a variável (2,50 cm) foi obtido com a aplicação de 3,54 pulsos de irrigação (≈ 4 pulsos).



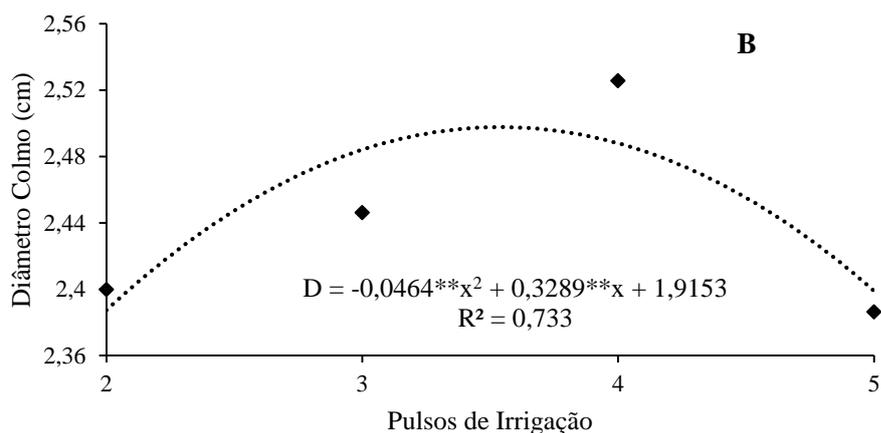


Figura 3. Diâmetro do colmo da cultura da cana-de-açúcar em função dos dias após o corte (A) e diferentes pulsos de irrigação (B), em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

Conforme Landell e Bressiani (2010), o diâmetro do colmo (DC) é um dos indicadores biométricos com alta sensibilidade ao déficit hídrico, sendo uma das primeiras variáveis a apresentar redução quando em condições deficitárias. A redução nos processos de multiplicação e alongamento celular, acompanhados pela disponibilidade hídrica no solo, possivelmente estão relacionados à limitação do desenvolvimento do DC na cana-de-açúcar.

O diâmetro do colmo tem por característica apontar um aumento gradual até na metade da fase de crescimento da planta, a partir desta fase a expansão do diâmetro dos colmos é mínima e a taxa de alongação das plantas se torna máxima, em seguida os diâmetros mantêm-se constantes ou apresentam leve redução até a colheita (SILVA et al., 2012).

Os valores de diâmetro do colmo encontrados neste trabalho estão de acordo com àqueles encontrados por Gunarathna et al. (2018) os quais avaliando a otimização do sistema de irrigação subsuperficial na cana-de-açúcar constataram diâmetros médios do colmo para a cultura variando de 25 a 30 mm e que a partir de 150 dias após de corte (DAC) ocorreu a estabilização dos diâmetros dos colmos.

Maiores valores para DC se relacionam com um desenvolvimento mais satisfatório da cana-de-açúcar, o que pode contribuir para ganhos em produção. Segundo Maia Júnior et al. (2018), valores maiores de diâmetro do colmo, sobretudo a partir dos 150 DAC, indicam uma característica importante na riqueza do produto final.

De acordo com Oliveira et al. (2011), o diâmetro do colmo é um parâmetro que depende das características genéticas da variedade, e também do número de perfilhos, da área foliar, das condições ambientais e de cultivo da cana-de-açúcar. Em trabalho, avaliando as influências diretas e indiretas dos componentes de produção, altura e diâmetro de colmos por parcela, sobre a produtividade de cana-de-açúcar nos ciclos de cana-planta e cana-soca, Silva et al. (2009) concluíram que, na contribuição para a produtividade, os maiores efeitos diretos foram observados para número e diâmetro do colmo no ciclo de cana-planta.

Por meio da Figura 4 pode-se observar que o maior valor da área foliar da cultura (0,61m²) foi obtido aos 325 dias após o corte. Quanto aos intervalos de aplicação de irrigação avaliados, verifica-se que o intervalo de 40 minutos proporcionou um incremento de 8,4% na AF em relação ao intervalo de 20 minutos.

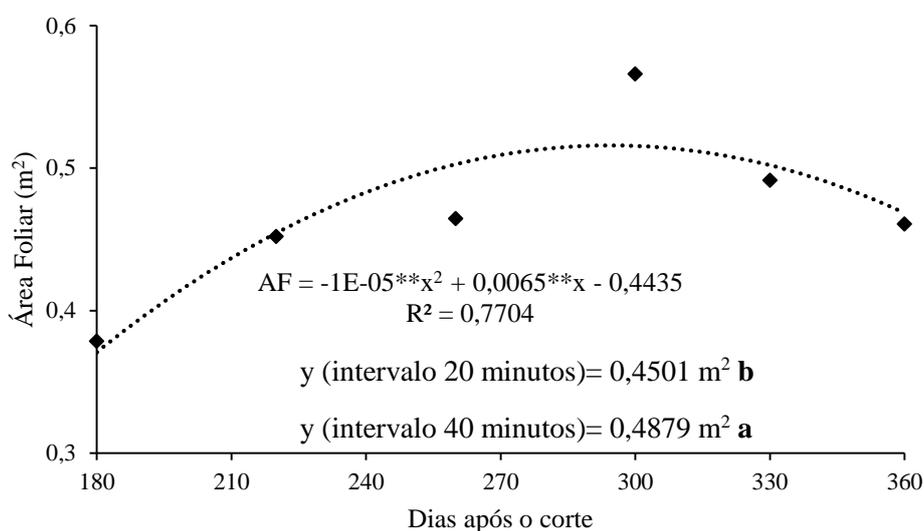


Figura 4. Área foliar (AF) da cultura da cana-de-açúcar em função dos dias após o corte e intervalos de irrigação, em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

Na cultura da cana-de-açúcar, a área foliar média tende a aumentar até o surgimento da 18ª folha, posteriormente podem ocorrer variações devido a mudanças de temperatura e a ocorrência de estresse hídrico, reduzindo a partir do estágio de maturação até o final do ciclo (INMAN-BAMBER, 1991; ROBERTSON et al., 1998). Essas informações se relacionam com o presente estudo, onde no final do ciclo a AF da planta foi reduzindo.

Segundo Silva et al. (2014), a área foliar está diretamente relacionada a demanda hídrica para cada fase de desenvolvimento, revelando que as limitações hídricas em períodos específicos diminuem a área foliar, a taxa fotossintética e o desenvolvimento das plantas. Desta forma, a restrição hídrica no início do desenvolvimento influenciou a área foliar das plantas, no entanto, no final do ciclo o estresse não afetou a expansão foliar, a qual se manteve quase invariável.

Em plantas sob condições de estresse hídrico ocorre uma intensificação da senescência foliar, que é atribuída à estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos e/ou mecanismos de adaptação das plantas (TAIZ et al., 2017). Dingre e Gorantiwar (2021) observaram que houve aumento na área foliar até os 195 DAP e a partir dos 255 DAP passou a reduzir. Os autores indicaram que esse comportamento estava relacionado ao rápido crescimento vegetativo dos perfilhos durante a fase de grande crescimento e, em seguida atribuiu-se a redução na AF à queda de folhas velhas e a idade da planta.

De acordo com Inman-Bamber et al. (2012), a redução da área foliar está relacionada com a redução do número de perfilhos e de folhas verdes, bem como a diminuição da largura e comprimento foliar. Ainda de acordo com os autores a morte de perfilhos reduz ainda a área foliar e, conseqüentemente, a quantidade acumulada de biomassa na cultura.

O intervalo de irrigação de 40 minutos favoreceu a AF da cana-de-açúcar, quando comparada com o intervalo de 20 minutos. O tempo maior no fracionamento da aplicação da lâmina de irrigação pôde proporcionar uma distribuição de água no perfil do solo mais adequada para aumentar a eficiência de absorção de água pelas raízes das plantas, principalmente em horários de picos dos processos fotossintéticos. Singh et al. (2018) afirmam que a disponibilidade da umidade do solo a um nível ótimo durante o período de crescimento da cana-de-açúcar, auxilia na melhor expansão da área foliar, resultando em maior crescimento e desenvolvimento das plantas.

O maior índice de área foliar ($3,71 \text{ m}^2/\text{m}^2$) foi obtido aos 278 dias após o corte (Figura 5A). Ao avaliar o índice de área foliar em função do número de pulsos aplicados verifica-se, por meio da Figura 5B, que a aplicação de 3,61 pulsos de irrigação (≈ 4 pulsos) proporcionou a obtenção do maior valor para a variável ($3,65 \text{ m}^2/\text{m}^2$).

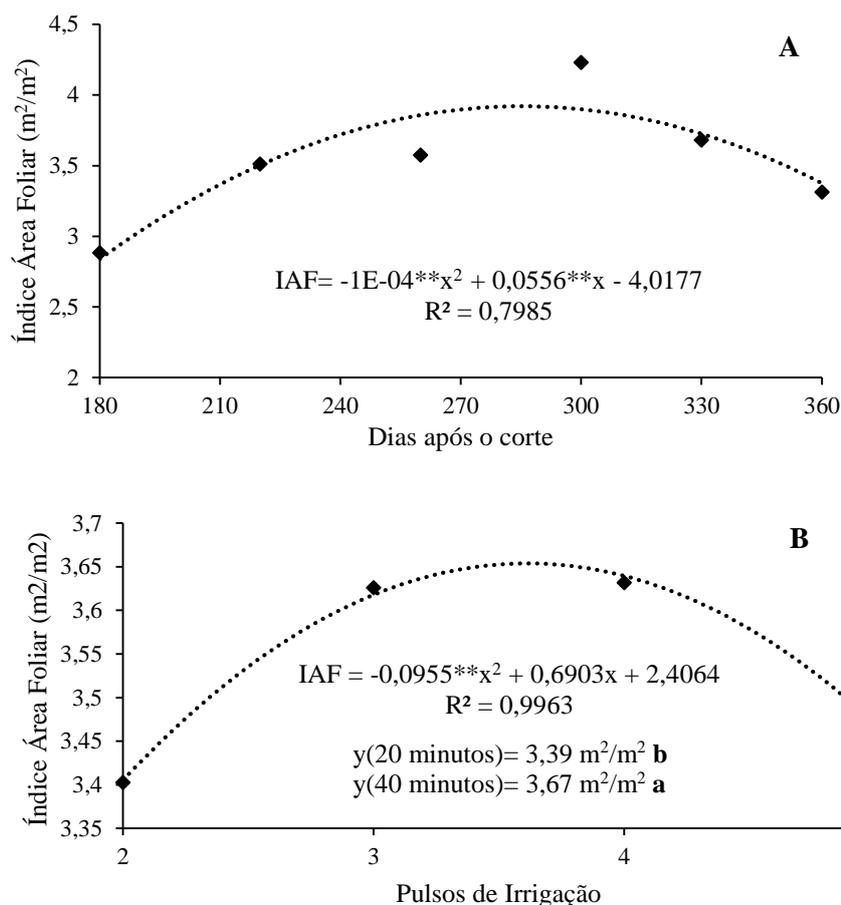


Figura 5. Índice de área foliar (IAF) da cultura da cana-de-açúcar em função dos dias após o corte (A), diferentes pulsos de irrigação e intervalos de irrigação (B), em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

Ainda de acordo com a Figura 5B, constata-se que o intervalo de aplicação de 40 minutos induziu um maior valor de índice de área foliar às plantas em relação ao intervalo de aplicação de 20 minutos, registrando-se acréscimos de 8,2% do intervalo de 40 minutos sobre o intervalo de aplicação de 20 minutos.

Pode-se constatar que o intervalo de irrigação de 40 minutos favoreceu a manutenção e a distribuição da umidade do solo, o que pode ter contribuído para a melhoria do IAF. Aquino et al. (2017) atribuíram a redução do IAF, a redução do número de perfislos e da área foliar em cana-de-açúcar aos baixos teores de umidade do solo.

De acordo com Machado et al. (1982), o IAF de melhor aproveitamento estaria em torno de 4,0, que seria suficiente para interceptar cerca de 95% da radiação solar, estando este valor próximo ao encontrado na presente pesquisa. Segundo Taiz et al. (2017),

maiores valores de IAF garantem às plantas maior capacidade de acúmulo de fotoassimilados e aproveitamento da energia solar e, conseqüentemente, maiores produtividades.

De acordo com o Resumo da Análise de Variância apresentado na Tabela 4, observa-se que houve efeito de forma isolada dos pulsos de irrigação sobre todas as variáveis avaliadas. Por outro lado, os intervalos de aplicação de irrigação (INT) influenciaram de maneira significativa as variáveis Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Fresca do Colmo (MFCOLMO) e a produtividade da cultura.

Tabela 4. Resumo da análise de variância das variáveis: Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Fresca do Colmo (MFCOLMO), Massa Seca do Colmo (MSCOLMO) e Produtividade da cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos e intervalos de irrigação, em Carpina – PE, 2023.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO				
		MFPA	MSPA	MFCOLMO	MSCOLMO	PRODUTIVIDADE
PULSOS (PUL)	3	13643521*	1654092**	669972783,1**	391841490,3**	670,01**
INTERVALOS (INT)	1	41177 ^{ns}	821880*	610740328,1*	248172599,7 ^{ns}	611,8*
PUL x INT	3	7523415 ^{ns}	102307 ^{ns}	284931631,1 ^{ns}	3264860,4 ^{ns}	285,02 ^{ns}
BLOCO	3	5251773	75069	68726240,6	6019088,1	68,73
ERRO	21	3777317	167491	110113616,6	54664865,9	111,03
CV	%	13,18	13,4	4,84	11,51	4,85

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

A máxima MFPA constatada foi de 15.853,84 kg ha⁻¹ (Figura 6A), a qual foi obtida com a aplicação de 3,98 pulsos de irrigação (≈ 4 pulsos), um incremento de 22,5% quando comparado com o valor obtido com a aplicação de 2 pulsos de irrigação (12.935,92 kg ha⁻¹). Com relação a MSPA (Figura 6B), observa-se que a aplicação de 3,56 pulsos de irrigação (≈ 4 pulsos) proporcionou a obtenção do maior valor para a variável. Quanto aos intervalos de aplicação avaliados, verifica-se que a MSPA foi incrementada em 11% quando se utilizou o intervalo de aplicação de 40 minutos em detrimento do intervalo de 20 minutos.

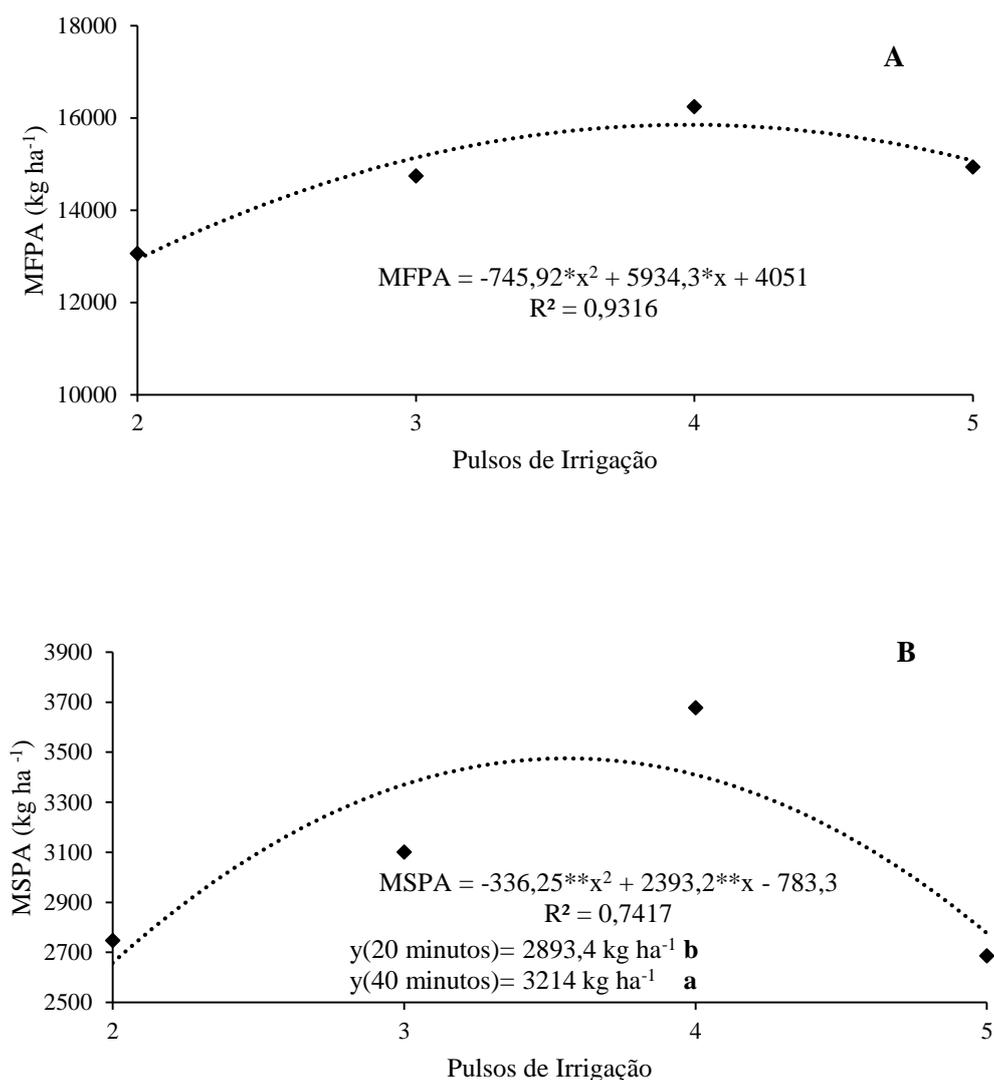


Figura 6. Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) (A) e Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) (B) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos e intervalos de irrigação, em Carpina - PE. ** e * Significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

Possivelmente, devido a manutenção da umidade do solo mais constante, a irrigação com intervalo de 40 minutos contribuiu para o aumento da produção de biomassa da parte aérea da cana-de-açúcar. De acordo com Zamora et al. (2021), com a irrigação pulsada e seus intervalos, o bulbo úmido se mantém constante por mais tempo, devido as melhores condições de disponibilidade hídrica e redução de perdas por evaporação ou percolação profunda.

Na Figura 7 são apresentados os dados de MFCOLMO (A) e MSCOLMO (B). Com relação a MFCOLMO (Figura 7A), observa-se que a aplicação de 3,28 pulsos de irrigação proporcionou a obtenção do maior valor para a variável. Quanto aos intervalos de aplicação avaliados, verifica-se que a MFCOLMO foi incrementada em 4,11% quando se utilizou o intervalo de aplicação de 40 minutos em detrimento do intervalo de 20 minutos.

A máxima MSCOLMO constatada foi 68.133 kg ha⁻¹ (Figura 7B) a qual foi obtida com a aplicação de 4,01 pulsos de irrigação, um incremento de 18,03% quando comparado com o valor obtido com 2 pulsos de irrigação (57.721 kg ha⁻¹).

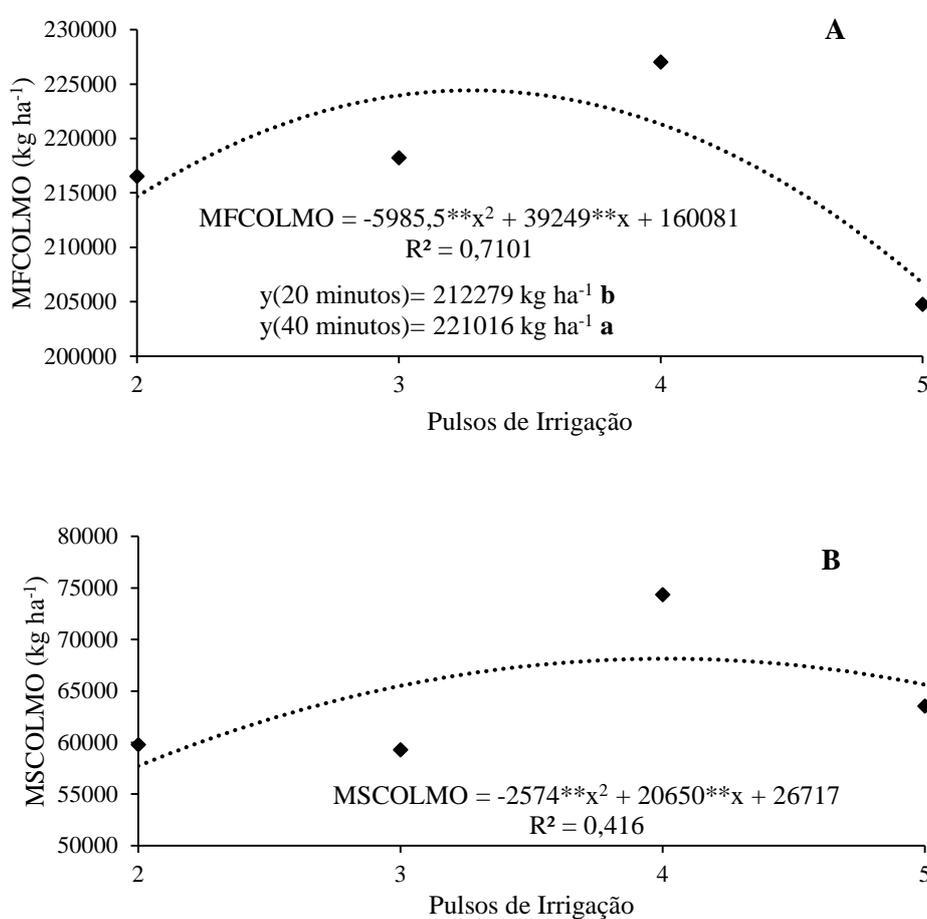


Figura 7. Massa Fresca do Colmo (MFCOLMO) (A) e Massa Seca do Colmo (MSCOLMO) (B) da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos e intervalos de irrigação em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

As plantas que receberam de 2 a 3 pulsos de irrigação, possivelmente, estiveram sob uma menor disponibilidade de água durante o dia, por causa do seu menor

parcelamento da irrigação, o que resultou em um menor acúmulo de biomassa fresca e seca, assim como constatado também em outros estudos com a cultura (Marcos et al., 2018; Misra et al., 2020; Dingre e Gorantiwar, 2021).

Por meio da Figura 8 pode-se observar que a maior produtividade da cultura da cana-de-açúcar foi obtida com a aplicação de 3,86 pulsos de irrigação (≈ 4 pulsos). Quanto aos intervalos de aplicação avaliados, verifica-se que a produtividade da cultura foi incrementada em 3,7% quando se utilizou o intervalo de aplicação de 40 minutos ao invés do intervalo de 20 minutos.

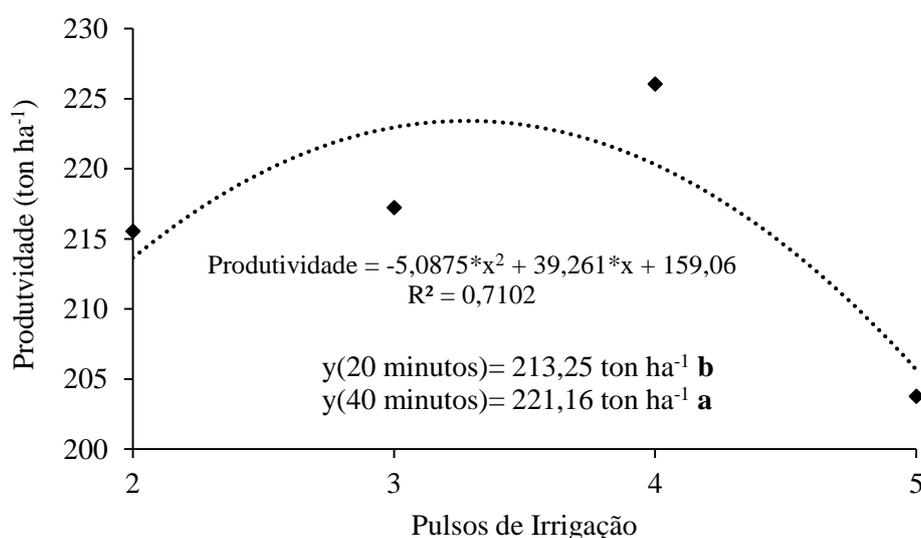


Figura 8. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes pulsos e intervalos de irrigação, em Carpina - PE. ** Significativo a 0,01 de probabilidade. Valores com letras diferentes indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

O aumento de produtividade obtido na presente pesquisa com a aplicação dos pulsos de irrigação corrobora aquele obtido por Abdelraouf et al. (2013), os quais estudando a aplicação da irrigação por pulsos no cultivo de batata, observaram que a produtividade da cultura aumentou com a aplicação de 4 pulsos de irrigação. Os pulsos e os intervalos de repouso proporcionam uma distribuição heterogênea e mais horizontal da água no perfil do solo, reduzindo a percolação de água sob a zona radicular das plantas e formando estreitas camadas de solo com teor de umidade diferente, capaz de estimular melhorias nos mecanismos fisiológicos das plantas, resultando em aumento na eficiência do uso da água e de nutrientes e, conseqüentemente, aumentando a produtividade da

cultura (DODD, 2009; BOYLE et al., 2016; ELHAKIM et al., 2020; PUÉRTOLAS et al., 2020; STALLMANN et al., 2020; HAJIRAD et al., 2021).

Verifica-se que, por meio da Tabela 5, o resumo da análise de variância referente aos contrastes ortogonais testados sobre as variáveis altura de planta (ALT), diâmetro do colmo (DIAM), área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) da cultura da cana-de-açúcar submetida a submetida a diferentes pulsos de irrigação (2, 3, 4 e pulsos), intervalos de aplicação da irrigação (20 e 40 minutos), e um tratamento testemunha o qual o manejo da irrigação foi realizado de forma contínua e com a aplicação de 100% da ETc (Testemunha).

Pode-se constatar que a irrigação das plantas com 100% da ETc, aplicada de forma contínua, proporcionou menores valores para todas as variáveis analisadas (ALT, DIAM, AF e IAF) quando comparado com os valores obtidos com a aplicação de qualquer um dos intervalos de irrigação estudados (20 ou 40 minutos) (Tabela 5). Outrossim, a irrigação das plantas utilizando-se qualquer um dos números de pulsos avaliados (2, 3, 4 ou 5 pulsos) já induz a obtenção de maiores valores para todas as variáveis estudadas em detrimento dos valores obtidos com a irrigação das plantas com 100% da ETc e de forma contínua (Testemunha).

Tabela 5. Resumo da análise de variância dos contrastes ortogonais para as variáveis altura de planta (AL), diâmetro do colmo (DIAM), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar (4º ciclo) submetida a diferentes pulsos de irrigação (2, 3, 4 e pulsos), intervalos de aplicação da irrigação (20 e 40 minutos), e um tratamento testemunha irrigado de forma contínua com 100% da ETc, aos 360 dias após o corte do ciclo anterior, em Carpina-PE.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO			
		AL	DIAM	AF	IAF
INTERVALO 20 x TESTEMUNHA	1	0,2786**	0,9001**	0,2501**	0,251**
INTERVALO 40 x TESTEMUNHA	1	0,6745**	0,0171*	0,0047*	0,017*
PULSOS x TESTEMUNHA	1	0,1257**	0,8108**	0,2507**	0,0882*
ERRO	12	0,003	0,0023	0,0002	0,0458
CV	%	1,33	2,01	3,82	6,57

FV: Fator de variação; GL: Graus de liberdade; ^{ns} não significativo; ** e * : significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente.

Tal como constatado para os contrastes ortogonais sobre as variáveis ALT, DIAM, AF e IAF (Tabela 5), os contrastes ortogonais testados sobre as variáveis massa fresca da

parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca do colmo (MFCOLMO), massa seca do colmo (MSCOLMO) e PRODUTIVIDADE da cultura da cana-de-açúcar evidenciaram que os intervalos de irrigação proporcionaram os maiores valores para todas as variáveis, independentemente dos intervalos avaliados (20 ou 40 minutos), em detrimento dos valores obtidos quando as plantas foram irrigadas com 100% da ETc de forma contínua (Testemunha) (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância dos contrastes ortogonais para as variáveis Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Fresca do Colmo (MFCOLMO), Massa Seca do Colmo (MSCOLMO) e produtividade da cana-de-açúcar sob diferentes tratamentos, em Carpina – PE.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO				
		MFPA	MSPA	MFCOLMO	MSCOLMO	PRODUTIVIDADE
INT 20 x TEST	1	14859,5**	1974,6**	2018,01**	2826,1**	932,3**
INT 40 x TEST	1	3378,4**	6782,1**	3277,7**	5101,1**	1447,2**
PULSOS x TEST	1	1513,5**	1659,3**	2401,9**	1541,1**	4488,9**
ERRO	12	3385,1	2195,5	75,7	6583,7	218,6
CV	%	12,32	15,41	4,2	12,77	7,23

FV: Fator de variação; INT: Intervalos de irrigação; TEST: Testemunha; GL: Graus de liberdade; ^{ns} não significativo; ** e *: significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente.

Os resultados obtidos por meio dos contrastes avaliados na presente pesquisa revelaram a importância da intermitência da irrigação na manutenção da umidade do solo por mais tempo, o que contribui para uma melhor produtividade de todas as variáveis avaliadas em comparação a lâmina de irrigação aplicada de uma só vez. Conforme Zin El-Abedin (2006), plantas irrigadas por pulsos tendem a acumular menor estresse hídrico diário, com isto as plantas crescem mais rápido e mais saudáveis. Esta técnica fornece condições desejáveis para movimentação da água no solo, por ter um padrão de umidade uniforme em profundidade e possibilitar melhor absorção de água pelas raízes.

Avaliando a irrigação por pulsos sobre a produção da cultura da soja no Egito, Eid et al. (2013), constataram efeitos positivos sobre a produção da cultura em função da utilização da irrigação por pulsos, tendo-se obtido os melhores resultados produtivos com as aplicações de 4 e 8 pulsos de irrigação. Ainda na mesma região, Abdelraouf et al. (2013) estudando a cultura da batata submetida a irrigação por pulsos, verificaram incremento da produtividade da água com a aplicação de 4 pulsos de irrigação, mesmo com uma reposição de apenas 75% da evapotranspiração da cultura (ETc).

4. CONCLUSÕES

De modo geral, os melhores resultados para todas as variáveis de crescimento avaliadas e produtividade da cultura da cana-de-açúcar (4º ciclo) foram obtidos com a aplicação de 4 pulsos de irrigação;

O intervalo de irrigação de 40 minutos foi o que propiciou a obtenção dos melhores resultados para todas as variáveis de crescimento avaliadas e produtividade da cultura;

Todos os valores observados para as variáveis de crescimento e produtividade da cultura com a utilização do tratamento testemunha (irrigação com 100% da ETc, aplicada de forma contínua) foram inferiores àqueles obtidos com qualquer combinação dos demais tratamentos estudados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelraouf, R. E., Abou-Hussein, S. D., Marzouk, N. M., Elbegawy, M. K. H. Effect of pulse drip irrigation technology on the economical parameters of potato production under organic agriculture. *Journal of Applied Sciences Research*, v. 9, p. 601-611, 2013.

ALLEN, R. G., PEREIRA, P. S.; RAES, R., SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

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.

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, n. 7, p. 476-481, 2018.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES J. L. M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

- AQUINO, G. S., MEDINA, C. C., COSTA, D. C., SHAHAB, M., SANTIAGO, A. D. Sugarcane straw management and its impact on production and development of ratoons. *Industrial Crops and Products*, v. 102, p. 58-64, 2017.
- BOYLE, R. K. A., MCAINSH, M., DODD, I. C. Daily irrigation attenuates xylem abscisic acid concentration and increases leaf water potential of *Pelargonium × hortorum* compared with infrequent irrigation. *Physiologia Plantarum*, v. 158, n. 1, p. 23-33, 2016.
- CARDOZO, N. P., BORDONAL, R. O., SCALA JÚNIOR, N. L. Sustainable intensification of sugarcane production under irrigation systems, considering climate interactions and agricultural efficiency. *Journal of Cleaner Production*, v. 204, p. 861-871, 2018.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. Quarto Levantamento: Safra 2022/2023. CONAB, Brasília, Brasil, v. 8, n. 4, 2023.
- CORMIER, J., DEPARDIEU, C., LETOURNEAU, G., BOILY, C., GALLICHAND, J., CARON, J. Tensiometer- based irrigation scheduling and water use efficiency of field-grown strawberries. *Agronomy Journal*, v. 112, p. 2581-2597, 2020.
- DIAS, H. B., SENTELHAS, P. C. Dimensioning the Impact of Irrigation on Sugarcane Yield in Brazil. *Sugar Tech*, v. 21, n. 1, p. 29-37, 2019.
- DILLEWIJN, C. V. Botany of sugarcane. Waltham: *Chronica Botanica*, 1952. 371p.
- DINGRE, S. K., GORANTIWAR, S. D. Soil moisture based deficit irrigation management for sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in semiarid environment. *Agricultural Water Management*, v. 245, n. 9, p. 106549, 2021.
- DODD, I. C. Rhizosphere manipulations to maximize “crop per drop” during deficit irrigation. *Journal of Experimental Botany*, v. 60, n. 9, p. 2454-2459, 2009. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp192>
- DOORENBOS, J. Y., PRUITT, W. O. Crop water requirements. FAO Estudio de Riego y Drenaje, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, n. 24, 1977. 144p.
- DOORENBOS, J., KASSAN, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, (FAO. Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 33), 1994. 306p.

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, n. 5, p. 249-261, 2013.

ELHAKIM, A. A., ELMEADAWY, M., EL-SYBAEE, I., EGELA, M. Effect Use of Pulsed Deficit Drip Irrigation for Tomato Crop in Greenhouse powered by solar energy. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, v. 38, n. 1, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.21608/mjae.2020.48883.1014>

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

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nation. OECD-FAO Agricultural Outlook: 2018-2027. 2018. Disponível em: . Acesso em: 12 janeiro de 2022.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GUNARATHNA, M. H. J. P., SAKAI, K., NAKANDAKARI, T., MOMII, K., ONODERA, T., KANESHIRO, H., UEHARA, H., WAKASUGI, K. Optimized Subsurface Irrigation System: The Future of Sugarcane Irrigation. *Water*, v. 10, n. 2, p. 1-14, 2018.

HAJIRAD, I., MIRLATIFI, S. M., DEHGHANISANIJ, H., MOHAMMADI, S. Effects of different pulsed drip irrigation levels on the yield and water productivity of silage maize. *Water and Irrigation Management*, v. 11, n. 2, p. 87-98, 2021. <https://doi.org/10.22059/jwim.2021.306782.807>

HERMANN, E. R., CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-deaçúcar. *Revista STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 17, n. 5, p. 32-34, 1999.

INMAN-BAMBER, N. G. A growth model for sugar-cane based on a simple carbon balance and the CERES· Maize water balance. *South African Journal of Plant and Soil*, v. 8, n. 2, p. 93- 99, 1991.

INMAN-BAMBER, N. G., LAKSHMANAN, P., PARK, S. Sugarcane for water-limited environments: Theoretical assessment of suitable traits. *Field Crops Research*, v. 134, p. 95-104, 2012.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Norma Climatológica do Brasil 1961-1990. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/inmet?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 10 dez. 2022.

KELLER, J., KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, v. 17, n. 4, p. 678-684, 1974.

LANDELL, M. G. A., BRESSIANI, J. A. Genetic Improvement, Characterization and Management Varietal. In: DINARDO, M. L. L., VASCONCELOS, A. C. M., LANDELL, M. G. A. (Eds.), Sugarcane. Agronomic Institute Campinas, 2010.

SILVA, T. G. F., MOURA, M. S. B., ZOLNIER, S., CARMO, J. F. A., SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 3, p. 500-509, 2012.

MACHADO, E. C., PEREIRA, A. R., FAHL, J. I., ARRUDA, H. V., CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MAIA JÚNIOR, S. O., SILVA, J. A. C., SANTOS, K. P. O., CORDEIRO, D. R. C., SILVA, J. V., ENDRES, L. Respostas morfológicas e fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar sob estresse hídrico no segundo ciclo de cultivo. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 12, n. 3, p. 2661- 2672, 2018.

MARCOS, F. C. C., SILVEIRA, N. M., MOKOCHINSKI, J. B., SAWAYA, A. C. H. F., MARCHIORI, P. E. R., MACHADO, E. C., SOUZA, G.M., LANDELL, M G. A., RIBEIRO, R. V. Drought tolerance of sugarcane is improved by previous exposure to water deficit. Journal of Plant Physiology, v. 223, p. 9-18, 2018.

MARIN, F. R., INMAN-BAMBER, G., SILVA, T. G. F., VIANNA, M. S., NASSIF, D. S. P., CARVALHO, K. S. Sugarcane evapotranspiration and irrigation requirements in tropical climates. Theoretical and Applied Climatology, v. 140, n. 4, p. 1349-1357, 2020.

MISRA, V., SOLOMON, S., MALL, A. K., PRAJAPATI, C. P., HASHEM, A., ABD_ALLAH, E. F., ANSARI, M. I. Morphological assessment of water stressed sugarcane: A comparison of waterlogged and drought affected crop. Saudi Journal of Biological Sciences, v. 27, n. 5, p. 1228-1236, 2020.

MOHANRAJ, K., HEMAPRABHA, G., VASANTHA, S. Biomass yield, dry matter partitioning and physiology of commercial and Erianthus introgressed sugarcane clones under contrasting water regimes. *Agricultural Water Management*, v. 255, p. 107035, 2021.

OLIVEIRA, E. C. A., FREIRE, F. J., OLIVEIRA, R. I., OLIVEIRA, A. C., SANTOS FREIRE, M. B. G. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 3, p. 579- 588, 2011.

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*, v. 169, p. 52-60, 2016.

PUÉRTOLAS, J., ALBACETE, A., DODD, I. C. Irrigation frequency transiently alters whole plant gas exchange, water and hormone status, but irrigation volume determines cumulative growth in two herbaceous crops. *Environmental and Experimental Botany*, v. 176, p. 104-110, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104101>

ROBERTSON, M. J., BONNETT, G. D., HUGHES, R. M., MUCHOW, R. C., CAMPBELL, J. A. Temperature and leaf area expansion of sugarcane: integration of controlled-environment, field and model studies. *Functional Plant Biology*, v. 25, n. 7, p. 819-828, 1998.

SILVA, N. F., CUNHA, F. N., OLIVEIRA, R. C., MOURA, L. M. F., MOURA, L. C., TEIXEIRA, M. B. Crescimento da cana-de-açúcar sob aplicação de nitrogênio via gotejamento subsuperficial. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2014.

SILVA, F. L., PEDROZO, C. A., BARBOSA, M. H. P., RESENDE, M. D. V., PETERNELLI, L. A., COSTA, P. M. A., VIEIRA, M. S. Análise de trilha para os componentes de produção de cana-de-açúcar via blup. *Revista Ceres*, v. 56, n.3, p.308-314, 2009.

SILVA, L. M. C. Biometria e produtividade da cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento subsuperficial pulsado. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2022.

- SILVA, N. F., CUNHA, F. N., TEIXEIRA, M. B., SOARES, F. A. L. Crescimento e rendimento da cana-de-açúcar irrigada submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 14, n. 1, p. 3792-3802, 2020.
- SILVA, T. G. F., MOURA, M. S. B., ZOLNIER, S., CARMO, J. F. A., SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, p. 500-509, 2012.
- SINGH, I., VERMA, R. R., SRIVASTAVA, T. K. Growth, Yield, Irrigation Water Use Efficiency, Juice Quality and Economics of Sugarcane in Pusa Hydrogel Application Under Different Irrigation Scheduling. *Sugar Tech*, v. 20, n. 1, p. 29-35, 2018.
- STALLMANN, J., SCHWEIGER, R., PONS, C. A. A., MÜLLER, C. Wheat growth, applied water use efficiency and flag leaf metabolome under continuous and pulsed deficit irrigation. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 101-1012, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66812-1>
- TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I. M., MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6 Ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 888p.
- VAN DILLEWINJ, C. *Botany of sugarcane*. Waltham: The Chronica Botanica, 1952. 371 p.
- WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, v. 11, n. 1, p. 41-76, 1947.
- 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.
- 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, n.1, p. 22-28, 2019.

ZAMORA, V. R. O., SILVA, M. M., SANTOS JÚNIOR, J. A., SILVA, G. F., MENEZES, D., ALMEIDA, C. D. G. C. Assessing the productivity of coriander under different irrigation depths and fertilizers applied with continuous and pulsed drip systems. *Water Supply*, v. 21, n. 5, p. 2099-2108, 2021.

ZIN EL-ABEDIN, T. K. Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. *Irrigation and Drainage*, 2006. Disponível em: <http://www.mjae.eg.net/pdf/2006/nov/19.pdf>. Acesso: 4 jan. 2024