

LÍVIA MARIA CAVALCANTE SILVA

**BIOMETRIA E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO APLICADAS POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO**

RECIFE – PE

2022

LÍVIA MARIA CAVALCANTE SILVA

BIOMETRIA E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO APLICADAS POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida

RECIFE – PE

2022

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)

S586sb Silva, Livia Maria Cavalcante

Biometria e produtividade da cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento subsuperficial pulsado / Livia Maria Cavalcante Silva. - 2022.
58 f. : il.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2022.

1. Saccharum officinarum. 2. Medidas biométricas. 3. Manejo de irrigação. 4. Produção agrícola. I. Almeida, Prof. Dr. Ceres Duarte Guedes Cabral de, orient. II. Título

CDD 630

LÍVIA MARIA CAVALCANTE SILVA

BIOMETRIA E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO APLICADAS POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

DEFENDIDA em 31 de março de 2022

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Ceres Duarte Guedes de Almeida (CODAI/UFRPE)

Examinadores:

Prof. Gerônimo Ferreira da Silva (DEAGRI/UFRPE)

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto (EECAC/UFRPE)

Aos meus pais, Robson Vitor da Silva e
Jéssica Ferreira Cavalcante Silva, por
serem meu porto seguro, por todo amor,
ensinamentos e apoio na trajetória da
minha vida.

DEDICO

Agradecimentos

A Deus, por sua presença em todos os momentos, pela dádiva da vida, pelo imenso amor, por me conceder força nas dificuldades e sabedoria para chegar até aqui.

Aos meus pais, Robson e Jéssica, meus exemplos de força e determinação, por serem meu porto seguro, pelo amor incondicional, por todo incentivo, por nunca medirem esforços pra ajudar e por sempre me transmitir calma e confiança nas adversidades. As minhas irmãs, Laura Cavalcante e Layne Cavalcante, por todo amor, parceria, compreensão e por estar ao meu lado em toda circunstância. Ao meu namorado, Madson Barbalho, por dividir comigo essa experiência, por toda dedicação e todo suporte firmado no cuidado e afeto.

A minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida por ter aceitado acompanhar-me nesta jornada, pela paciência, por todo apoio e pelos ensinamentos repassados. A sua dedicação foi essencial para a minha motivação à medida que as dificuldades iam surgindo ao longo do percurso.

Aos professores, Prof. Dr. Gerônimo Ferreira e Prof. Dr. Manassés Mesquita, pela disponibilização da sua área experimental para execução das atividades.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA/UFRPE), pela oportunidade de cursar o Mestrado, pela assistência e estrutura oferecidas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa e ao Programa de Excelência Acadêmica – PROEX, pelo financiamento de parte da pesquisa.

A todos os profissionais da Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC), em especial a Evanilson Paulino pela disponibilidade, pelo auxílio e por todo apoio que me deram ao longo da realização do meu trabalho.

Em especial a Diego Castro, Ívis Andrei, José Edson Florentino e Larissa Lino, pela contribuição, pelos conhecimentos repassados e por facilitar minha compreensão.

A equipe de trabalho, por toda colaboração, pela compreensão, dedicação e parceria: Sirleide Menezes, Madson Barbalho, Fabiano Simplicio, Ana Cláudia, Catiana Vasconcelos, Carolayne Souza e todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente não só nas atividades de campo, mas durante todo tempo que dividimos na rotina da EECAC. Com quem guardo boas lembranças, aprendizados compartilhados, que tornaram os dias difíceis engraçados e mais leves.

E a todos que estiveram ao meu lado e que contribuíram de alguma forma para que este trabalho fosse efetivado.

Minha imensa gratidão!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. HIPÓTESES	14
3. OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo geral	14
3.2 Objetivos específicos	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 Cana-de-açúcar	15
4.1.1 Taxonomia e botânica	15
4.1.2 Importância socioeconômica	16
4.1.3 Condições climáticas para o cultivo	17
4.2 Irrigação na cana-de-açúcar	19
4.2.1 Irrigação por Gotejamento	20
4.2.2 Gotejamento contínuo e por pulsos	21
4.3 Variáveis biométricas	22
4.4 Produtividade da cultura sob gotejamento	24
4.5 Eficiência do uso da água	25
5. MATERIAL E MÉTODOS	26
5.1 Localização, descrição e caracterização da área experimental	26
5.2 Delineamento experimental e tratamentos	28
5.3 Sistema e manejo de irrigação	28
5.3.1 Caracterização da água de irrigação	28
5.3.2 Caracterização do sistema de irrigação	29
5.3.3 Determinação da lâmina de irrigação	31
5.3.3.1 Estimativa da ETc	31
5.3.3.2 Lâmina bruta	32
5.3.3.3 Estimativa do tempo de irrigação e da taxa de aplicação	32
5.4 Preparo e manejo do solo	32
5.4.1 Adubação de fundação e cobertura	33
5.5 Descrição e condução da cultura	33

5.6	Variáveis analisadas	33
5.6.1	Medidas biométricas	33
5.6.2	Produtividade	34
5.6.3	Eficiência do uso da água	35
5.7	Análise estatística	37
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.1	Biometria	38
6.2	Produtividade	41
6.3	Eficiência do uso da água	43
7.	CONCLUSÕES	45
8.	REFERÊNCIAS	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo da área experimental.	27
Tabela 2. Análise físico-química da água de irrigação.	29
Tabela 3. Lâminas aplicadas via gotejamento pulsado e contínuo em cada reposição hídrica. .	36
Tabela 4. Resumo da análise de variância para as medidas biométricas obtidas no ciclo da cana-planta, em função das formas de aplicação (FA), das lâminas de irrigação (L) e do tempo (T).	38
Tabela 5. Resumo da análise de variância para produtividade ($t\ ha^{-1}$) obtida no ciclo da cana-planta da variedade RB 041443, em função das formas de aplicação e diferentes lâminas de irrigação.	41
Tabela 6. Resumo da análise de variância para eficiência do uso da água ($t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) obtida no ciclo da cana-planta da variedade RB 041443, em função das formas de aplicação e diferentes lâminas de irrigação.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC), no município de Carpina-PE.	26
Figura 2. Croqui do experimento, demonstrando a distribuição das parcelas e dos blocos na área experimental.	28
Figura 3. Layout da parcela experimental, em corte lateral, indicando a localização do gotejador.	30
Figura 4. Feixes de colmos de cana-de-açúcar retirados da área útil (A) e procedimento da pesagem dos colmos (B) para cálculo da produtividade.	35
Figura 5. Registros de Precipitação anual (A) e Precipitação, ETo, ETc, Irrigação e Acúmulo (Precipitação + ETc) durante os meses de maior déficit hídrico (B) na EECAC.....	37
Figura 6. Altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), área foliar (C) e índice de área foliar (D) em função dos dias após plantio.	40
Figura 7. Produtividade da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação.	42
Figura 8. Produtividade da cana-de-açúcar em função das formas de aplicação da irrigação. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).....	43
Figura 9. Eficiência do uso da água (EUA) em função das lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura.	44
Figura 10. Eficiência do uso da água em função das formas de aplicação da irrigação. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).....	45

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

RESUMO

Nessa pesquisa, objetivou-se avaliar a morfologia e a produtividade em cultivo de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial contínuo e pulsado, sob diferentes lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina (EECAC/UFRPE) com a variedade RB041443 em seu primeiro ciclo (cana-planta). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 10 tratamentos dispostos em arranjo fatorial 2 x 5, sendo duas formas de aplicação da irrigação (pulsada e contínua) e cinco lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc), com quatro blocos, totalizando 40 parcelas experimentais. A aplicação dos tratamentos foi realizada nos meses de maior déficit hídrico na região (agosto, setembro e outubro), por meio do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial. Aos 237 DAP iniciou a coleta de dados biométricos: altura (AC) e diâmetro do colmo (DC), número de folhas verdes e secas, comprimento e largura da folha +3. Além disso, estimou-se a área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) e a produtividade da cultura. Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. As formas de aplicação e lâmina de reposição apresentaram efeito isoladamente apenas para produtividade. As lâminas de reposição contribuíram na produtividade de colmos, sendo os maiores valores foram obtidos sob 80% da ETc tanto para gotejamento pulsado quanto para contínuo. O método de irrigação por gotejamento pulsado proporcionou melhores resultados em ganhos de produtividade no cultivo de cana-de-açúcar, quando comparado ao contínuo.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*, medidas biométricas, manejo de irrigação, produção agrícola.

Silva, L. M. C. **Biometry and productivity of sugarcane under irrigation depths Applied by pulsed subsurface drip**, 2022. Dissertation (Master in Agricultural Engineering) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil.

ABSTRACT

In this study, the objective was to evaluate the morphology and productivity in sugarcane cultivation irrigated by continuous and pulsed subsurface drip, under different replacement levels of crop evapotranspiration. The experiment was carried out at the Carpina Sugarcane Experimental Station (EECAC) with RB041443 variety in first season (plant cane). The design used was randomized blocks, with 10 treatments arranged in a 2 x 5 factorial arrangement, with two ways of irrigation application (pulsed and continuous) and five replacement levels of crop evapotranspiration (40, 60, 80, 100 and 120% of ETc), with four blocks, totaling 40 experimental plots. The treatments were applied in the months of greatest water deficit in the region (August, September, October), using the subsurface drip irrigation system. At 237 DAP the biometric measurements were initiated: stem height (AC) and diameter (DC), number of green and dry leaves, leaf length and width +3. In addition, leaf area (AF), leaf area index (IAF) and productivity were estimated. The results were submitted to analysis of variance by the F test at the 5% probability level. The ways of application and replacement depth had an effect alone only for productivity. The continuous distribution blades, being the biggest pulsators of the grouping operation were obtained under 80% of the pulsation, as far as for. The pulsed drip irrigation for better results in sugarcane productivity methods compared to continuous.

Keywords: *Saccharum officinarum*, biometric measures, irrigation management, agricultural production.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é uma das principais bases da economia no mundo. A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é considerada uma das principais commodities agrícolas em termos de produtividade, sendo historicamente o Brasil um dos maiores produtores desta cultura, destacando-se também na comercialização e exportação dos seus subprodutos. Dentre os vários estresses abióticos que limitam o desenvolvimento da cana-de-açúcar, evidencia-se deficit hídrico. A variação climática anual nas regiões do Brasil tem sido uma das principais causas de redução da produtividade agrícola, a falta ou excesso de água pode reduzir o crescimento da cana-de-açúcar e influir diretamente na produção da cultura.

Diante disto, a irrigação surge como estratégia imprescindível para suprir as necessidades da cultura em locais com irregularidade na distribuição pluviométrica, permitindo a continuidade na atividade agrícola com eficiência de uso da água. Sendo assim, o aperfeiçoamento das técnicas de manejo torna-se necessário para otimização da produção com maior economia de água. A irrigação pode ser aplicada por diversas modalidades existentes, tais como aspersão, pivô central, localizada por gotejamento superficial e subsuperficial. Entre todos os métodos, a irrigação por gotejamento proporciona maior eficiência na disponibilização de água, pois possibilita aplicações em pequenas quantidades e alta frequência, de acordo com a necessidade da cultura nos diferentes estádios de desenvolvimento.

O gotejamento subsuperficial apresenta melhor adaptação às características de cultivo de cana-de-açúcar. Estudos com diferentes variedades de cana-de-açúcar, em diferentes regiões produtoras, irrigada com gotejamento subsuperficial, têm mostrado o êxito no aumento da produtividade da cultura quando comparado ao cultivo em condições de sequeiro ou com outros sistemas de irrigação. A irrigação via gotejamento divide-se em contínua e pulsada. O gotejamento contínuo consiste na aplicação da lâmina sem interrupção. Por outro lado, a técnica de irrigação por gotejamento pulsado possibilita a aplicação da lâmina fracionada, com intervalos de descanso do sistema, repetindo o ciclo até que seja aplicada a lâmina diária requerida. Esta técnica de irrigação tem como consequência o aumento da razão entre o volume de água aplicado e o volume armazenado na rizosfera e mantém a umidade do solo na zona radicular próxima a capacidade de campo.

Entre os fatores fundamentais para atingir alta produtividade no cultivo de cana-de-açúcar está o conhecimento dos padrões de crescimento de cada variedade. A biometria é uma técnica muito utilizada em programas de melhoramento, objetivando criar variedades mais

produtiva. O monitoramento adequado das características biométricas, além de possibilitar a análise do estresse hídrico na planta, também auxilia na estimativa da produtividade agrícola e na simulação e modelagem de equações que possam ser utilizadas para diferentes condições hídricas, o que permite manejar a cultura para que as fases de máximo desenvolvimento coincidam com os períodos de maior disponibilidade hídrica, sem negligenciar a importância da umidade do solo em cada fase de crescimento (Landell e Silva, 1995; Almeida et al., 2008).

Apesar da relevância desse tipo de estudo, ainda são poucos os trabalhos que avaliam o comportamento morfológico da cana-de-açúcar em condições irrigadas com aplicação de diferentes lâminas de gotejamento pulsado, principalmente utilizando variedades recentemente lançadas. Essas informações poderão contribuir com a tomada de decisões em projetos de irrigação que geram grandes benefícios as culturas agrícolas e novas práticas de manejo mais eficazes.

2. HIPÓTESES

- A irrigação por pulsos melhora o desenvolvimento morfológico da cana-de-açúcar em relação a irrigação aplicada de forma contínua;
- O manejo da irrigação afeta a relação entre morfologia da cana-de-açúcar e umidade do solo;
- A técnica de irrigação por pulsos proporciona maior produtividade da cana-de-açúcar em comparação com a irrigação contínua;
- A técnica de gotejamento por pulsos proporciona melhor eficiência do uso da água.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o desenvolvimento por meio da biometria e a produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial contínuo e pulsado, sob diferentes lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80 100 e 120% da ETc).

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar o índice de crescimento da cana-de-açúcar sob gotejamento pulsado e diferentes lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura por meio de medidas

biométricas;

- Identificar a lâmina de reposição da evapotranspiração que proporcionou maior produtividade;
- Avaliar o efeito do gotejamento pulsado sobre a eficiência do uso da água;
- Avaliar a influência da irrigação complementar na produtividade da cana-de-açúcar.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Cana-de-açúcar

4.1.1 Taxonomia e botânica

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Cyperale, família Poaceae, tribo Andropogoneae, subtribo Saccharinae e gênero *Saccharum*. A cana-de-açúcar é uma cultura de ciclo semiperene e elevada rusticidade, caracterizada por ser uma planta alógama, originária do sudeste Asiático, região com umidade relativa do ar e temperaturas elevadas. Trata-se de uma planta de reprodução sexuada, no entanto, quando cultivada comercialmente é multiplicada assexuadamente, por propagação vegetativa (Daniels e Roach, 1987; Matsuoka et al., 2005).

As principais características dessa família são a inflorescência em forma de espiga (panícula), o crescimento do caule em colmos, as folhas com lâminas (limbo) de sílica em suas bordas, bainhas abertas e as raízes fasciculadas (Marafon, 2012). A cana-de-açúcar desenvolve-se em forma de touceira, com a formação de perfilhos. A parte aérea da planta é composta por colmos (material de maior interesse econômico), que são segmentados em nós e entrenós, onde está localizada a inserção foliar. O colmo possui forma cilíndrica e atinge, na primeira rebrota, cerca de 2m de altura, sendo considerado a parte principal da cana, por dele ser extraído o caldo para produção do açúcar e etanol. As folhas da cana, fixadas nos colmos por meio da bainha, são responsáveis pela respiração, transpiração e elaboração dos açúcares nas plantas (Rodrigues e Ross, 2020).

Esta cultura desenvolve três tipos de raízes: 1) raízes de fixação – são mais profundas e originadas nos toletes; 2) raízes superficiais – são ramificadas e absorventes, desenvolvidas nos perfilhos primários; 3) raízes cordão – podem atingir até seis metros de profundidade (Faroni, 2004). De acordo com Marafon (2012) e Diola e Santos (2010), as principais fases de desenvolvimento são: 1) brotação - o crescimento é lento e a ocorrência da brotação é em

20 a 30 dias; 2) perfilhamento - inicia em torno de 40 dias após o plantio e pode durar até 120 dias; 3) crescimento dos colmos - a partir dos 120 após o plantio (ou corte) e dura por até 270 dias, sendo o estágio mais importante do cultivo, pois é quando se acumulam aproximadamente 75% da matéria seca total e 4) maturação - quando ocorrem 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 6 meses.

Segundo Quintela et al. (1997) a qualidade no plantio da cana-de-açúcar pode influenciar em alguns aspectos agrônômicos da cultura dentre os quais têm maior destaque a brotação e o perfilhamento. A brotação é muito dependente das condições ambientais fornecidas para a cultura, como também o manejo e época de plantio. O perfilhamento é considerado como a fase de estabelecimento da cultura e de grande importância econômica, pois possibilita o cálculo da quantidade de perfilhos por hectare, que juntamente com o início da acumulação de sacarose nos tecidos do colmo, determinarão a produtividade do cultivo. Antes do plantio deve-se fazer o levantamento topográfico, dividindo-se a área em talhões e realizar as análises de solo, para determinar a necessidade ou não de correção e adubação.

4.1.2 Importância socioeconômica

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, colhendo 652,63 milhões de toneladas por safra, em uma área de 8.616,1 mil hectares, a qual tem sido cultivada em escala comercial em diversas regiões, resultando em grande diversidade de condições edafoclimáticas, que ocasionam variabilidade na adaptação dos cultivares (Manhães et al., 2015; Conab, 2021). Desse total, a região Centro-Sul produz 92,06% e a região Norte-Nordeste, 7,94%. No estado de Pernambuco, a área plantada é da ordem de 233 mil hectares e a produção na safra 2020/2021 foi de 11,83 milhões de toneladas (Conab, 2021). A produtividade agrícola estimada no estado é de 50,76 toneladas por hectare, considerada baixa quando comparada com a média de outras regiões produtoras como São Paulo, com 79,72 t ha⁻¹, e Minas Gerais, com 82,71 t ha⁻¹. Segundo Carlin et al. (2008), esta cultura possui um grande armazenamento de sacarose nos tecidos dos colmos, tornando-a de extrema importância comercial. Deste modo, a tecnologia de produção de cana é bem desenvolvida, sendo lançadas novas variedades geneticamente melhoradas continuamente.

A RIDESA (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro) é líder no desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar e tem parceria com 95% das empresas do setor sucroalcooleiro. As variedades com a sigla RB - República Federativa do

Brasil passam a ocupar 60% da área de cana-de-açúcar cultivada no país (RIDESA, 2021). A RB041443 é um lançamento da Ridesa, desenvolvida pela Universidade Federal de Pernambuco – UFRPE, cultivar responsiva de boa adaptabilidade e estabilidade em diversos ambientes, tolerante a estresse hídrico e resistente às principais doenças da cana-de-açúcar (ferrugem marrom e alaranjada, escaldadura, carvões e moisco) e ainda ao nematoide *Meloidogyne incognita*, tem seu crescimento ereto, boa brotação de socaria, baixo florescimento, elevado porte e alta produtividade. Além disso, comparada a outras variedades, possui alto índice de Açúcar Total Recuperável (ATR), importante indicador para a definição do preço da cana (RIDESA, 2021).

4.1.3 Condições climáticas para o cultivo

A cana-de-açúcar é uma cultura adaptada às condições tropicais e subtropicais, caracterizadas por alta disponibilidade de água e radiação. Segundo Carneiro et al. (2015), consideram-se condições climáticas ótimas para o cultivo canavieiro, quando ocorrem duas estações distintas: i) uma quente e úmida, para proporcionar o desenvolvimento; e outra ii) fria e seca, para promover a maturação e, conseqüente, o acúmulo de sacarose nos colmos. No Brasil, as grandes zonas canavieiras concentram-se na área costeira, onde possuem temperaturas e precipitações anuais médias de 20 °C e entre 1.250 a 1.750 mm no Centro-Sul e 26 °C e entre 750 a 1.250 mm no Norte-Nordeste, respectivamente (Crispim, 2006; Marin et al., 2012; Carneiro et al., 2015). A melhor faixa de temperatura para a cana-de-açúcar está entre 27 e 34 °C; abaixo de 20 °C ou acima de 35 °C, condicionam menores taxas de crescimento devido ao estresse térmico (Câmara et al., 1993) e temperaturas inferiores a 16 °C e superiores a 38 °C, o crescimento torna-se praticamente nulo (Doorembos & Kassan, 2000; Carneiro et al., 2015).

Em regiões de estações bem definidas de estiagem e precipitação (irregularidades de chuvas associadas com altas temperaturas), a cultura pode ser submetida a altos déficits hídricos, dependendo da época de plantio e de colheita, e causar impacto negativo na produtividade, devido à má brotação de soqueira ou continuidade do crescimento. Os efeitos do déficit hídrico não se estabelecem apenas nas regiões áridas ou semiáridas, porque mesmo em regiões climaticamente úmidas a irregularidade na distribuição das chuvas pode limitar o crescimento da cana-de-açúcar em alguns períodos (Taiz et al., 2017). Dentre os fatores que compõem o clima regional, a disponibilidade hídrica é completamente dependente das precipitações pluviais, e este fator é essencial para a exploração dos sistemas agrícolas

introduzidos, da qual a uniformidade de distribuição é fundamental ao longo do ano.

A água é um dos fatores essenciais para o desenvolvimento, em razão do grande volume utilizado pelos vegetais no crescimento, nas reações bioquímicas e outros processos metabólicos (Lopes et al., 2011; Taiz et al., 2017; Lira et al., 2018). Segundo Kramer (1983), o déficit hídrico se desenvolve durante períodos em que a perda de água por transpiração excede os ganhos por absorção. Em condições de restrição hídrica, o crescimento da planta pode ter redução de até 80%, pois reduz o alongamento e divisão celular, causando o decréscimo na expansão das folhas e crescimento do colmo, o que pode interferir também na qualidade final do produto por reduzir o acúmulo de sólidos solúveis do colmo e impactar diretamente no rendimento do cultivo (Koehler, 1982; Inman-Bamber, 2004; Machado et al., 2009; Gava et al., 2011; Taiz et al., 2017).

O déficit hídrico nos períodos de máximo desenvolvimento, em cana planta, e no estágio inicial, em cana soca, pode limitar o crescimento das plantas e resultar em quedas acentuadas de rendimento (Ometto, 1980). Para Van Dillewinj (1952), a cana-de-açúcar apresenta elevado consumo hídrico, necessitando de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca na planta.

Para Carneiro et al. (2015) e Câmara et al. (1993), as necessidades hídricas da cana-de-açúcar são em torno de 1.500 mm por ano, principalmente nas fases de brotação, emergência e crescimento vegetativo, onde a demanda hídrica para suprir as necessidades fisiológicas da planta é maior. No entanto, algumas pesquisas mostram que para a cultura atingir seu máximo potencial a quantidade de água necessária é em torno de 1.200 a 1.300 mm (Inman-Bamber et al., 2008). Porém, na região nordeste a estiagem bem definida, favorece o período de maturação dos colmos, uma vez que, esta condição reduz o crescimento e aumenta o acúmulo de açúcares nos colmos (Carneiro et al., 2015).

Tendo em vista que as precipitações pluviométricas são irregulares no espaço e no tempo, a irrigação surgiu na agricultura para suprir essa desigualdade hídrica e aumentar a produção de alimentos. No entanto, para se tornar economicamente viável é importante identificar quando, como e quanto irrigar com base na capacidade de retenção de água do solo e consumo de água pelas plantas (Rocha Neto et al., 2015; Souza et al., 2018). Portanto, é necessário o controle rigoroso da evapotranspiração durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para isto, é indispensável o conhecimento de parâmetros relacionados ao clima, para determinar o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada (Lira et al., 2018).

4.2 Irrigação na cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar apresenta tolerância ao estresse hídrico, porém, responde muito bem à irrigação (Singh et al., 2007; Pires et al., 2018). Conforme Scardua & Rosenfeld (1987), é difícil estabelecer a relação entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar, em razão do consumo variar de acordo com a cultivar utilizada, o estágio fenológico e o ciclo da cultura, como também, das condições climáticas e da água disponível no solo, além dos diversos fatores que interferem no desenvolvimento da planta.

Atualmente, a irrigação está bastante explorada em diversas culturas sob condições edafoclimáticas distintas (Melo et al., 2010; Delazari et al., 2017). No entanto, com a limitação na disponibilidade de água para a agricultura, os elevados custos de energia e a progressiva preocupação mundial com os recursos hídricos, torna-se necessária a adoção de estratégias de manejo (López-Mata et al., 2010; Mantovani et al., 2013; Delazari et al., 2017).

A irrigação plena, ainda é pouco utilizada no Brasil, porém possui vários benefícios, como: aumento da produtividade agrícola; longevidade das soqueiras; baixo índice de tombamento; economia com arrendamento de terras; evita a falta de água em fases fenológicas críticas para a cultura e maximização da eficiência dos insumos durante o ciclo da cultura, o que melhora a qualidade da matéria prima e racionalização do uso da mão de obra empregada na produção (Bernardo et al., 2019). A combinação da irrigação com cultivares edafoclimaticamente adaptadas propicia incrementos na qualidade do caldo e na produção de colmos e de açúcar (Carvalho et al., 2009).

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; ii) irrigação suplementar, de forma que garanta total ou parcialmente o suprimento hídrico da cultura (demanda evaporanspirativa), variando de acordo com a região, entre 400 e 750 mm por ciclo de cultivo anual e iii) 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). O tipo de irrigação a ser adotada vai depender da lâmina de água a ser aplicada, da disponibilidade de água próximo à área e do investimento.

Pesquisas com cana-de-açúcar cultivada em diferentes regimes hídricos e de sequeiro (Silva et al., 2015b; Rodolfo Junior et al., 2016; Arlanch et al., 2018), têm conclusões similares quanto aos acréscimos na produção da cultura irrigada comparada à cultura em condições de

sequeiro. Diante disso, a irrigação apresenta-se como uma das alternativas para redução dos efeitos do déficit hídrico na cana-de-açúcar, e o manejo racional da água é fundamental para diminuir a quantidade de água utilizada e maximizar a produtividade (Dantas Neto et al., 2006; Holanda et al., 2014).

4.2.1 Irrigação por Gotejamento

A prática da irrigação é uma técnica bastante utilizada para suprir a demanda de água e nutrientes pelas culturas, que possibilita a incorporação de áreas previamente consideradas impróprias para o cultivo, pela ocorrência de déficits hídricos. Atualmente, existem diversos tipos de irrigação, os mais utilizados são irrigação por aspersão mecanizada (pivô central), irrigação por sulcos e irrigação localizada. A escolha do sistema de irrigação pode ser de acordo com o relevo da região, tipo de cultura e eficiência desejada (Kunz et al., 2014).

Dentre os principais sistemas de irrigação existentes (por sulcos, gotejamento, aspersão e microaspersão), 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. Esse sistema de irrigação é caracterizado pela aplicação de água em pequenas quantidades, em alta frequência próximo à zona radicular das plantas, não molhando as entrelinhas e com um consumo de água reduzido quando comparado a outros sistemas de irrigação (Nir, 1982; Dasberg e Bresler, 1985; Nogueira et al., 2000).

Entre os benefícios da irrigação por gotejamento, podemos destacar: aumento da produtividade e longevidade dos canaviais; aumento do período de plantio e colheita, redução dos tratos culturais, redução dos riscos de produção e custo de capital, possibilidade de planejamento. Esse sistema tem um custo alto em sua instalação, mas compensável pelo aumento da produtividade da cultura (Nogueira et al., 2000; Bizari et al., 2016).

Este sistema pode ser classificado, segundo a posição de instalação da linha de emissores, em superficial, quando os emissores se encontram na superfície do solo, e subsuperficial, quando os emissores se localizam abaixo da superfície. A irrigação por gotejamento subsuperficial (SDI) deriva do gotejamento superficial, sendo constituída por emissores instalados na subsuperfície do solo, com aplicação da água na zona radicular da cultura, possibilitando maior desenvolvimento das raízes, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo, evitando a exposição de superfície molhada e reduzindo, ainda mais, as perdas por evaporação (Bizari et al., 2016).

Para Silva et al. (2019) e Ferreira Júnior et al. (2014), o gotejamento subsuperficial apresenta melhor adaptação às características de cultivo de cana-de-açúcar e melhor eficiência de aplicação da água. Em estudo na Índia, avaliando diferentes métodos de irrigação na produção de cana-de-açúcar, em dois ciclos de cultivo (cana-planta e cana-soca), Surendran et al. (2016) observaram que dentre os métodos utilizados, a cana-de-açúcar irrigada pelo método de gotejamento alcançou maior produtividade média de 120 t ha⁻¹ e foi considerado significativamente superior aos demais tratamentos. Silva et al. (2014) avaliaram a produtividade de variedades de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento durante dois ciclos de produção, cujos resultados mostraram que as variedades apresentam um potencial produtivo elevado utilizando esse sistema de irrigação.

4.2.2 Gotejamento contínuo e por pulsos

A irrigação por gotejamento pode ser classificada em contínua e pulsada. A técnica de irrigação contínua consiste na aplicação da lâmina sem interrupção, possibilitando formação de uma faixa úmida. Por outro lado, a irrigação por pulsos é a técnica em que os gotejadores são programados para aplicar pequenas doses de água constante, de acordo com a necessidade do cultivo, dividida em várias aplicações diárias e cada uma é seguida por um período de descanso do sistema (Karmeli e Peri, 1974; Maller et al., 2019). Esta técnica de irrigação tem como consequência o aumento da razão entre o volume de água aplicado e o volume armazenado na rizosfera e mantém a umidade do solo na zona radicular igual ou superior à Capacidade de Campo (Bakker et al., 2009; Eid, Bakry e Taha, 2013).

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. Phogat et al. (2013) demonstraram que sob condições de déficit hídrico constante, a técnica de irrigação por pulsos é uma opção promissora para melhorar a eficiência de irrigação, fornecendo resposta benéfica para culturas hortícolas, ademais de manter a produtividade e lucratividade.

Trabalhos desenvolvidos por Vyrlas e Sakellariou (2005) e Phogat et al. (2013) em torno da utilização da irrigação por pulsos, mostram que essa prática possibilita maior economia, eficiência de aplicação e uniformidade de distribuição. Este tipo de irrigação é decorrente de uma combinação adequada do número de pulsos e da duração dos intervalos de tempo entre eles, no entanto, não tem um padrão estabelecido.

4.3 Variáveis biométricas

A limitação no crescimento é considerada como o primeiro mecanismo de defesa da cultura ao déficit hídrico. As atividades que dependem da turgidez 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). Com isso, ocorre a diminuição na área superficial de transpiração, conservando o suprimento mínimo de água no solo por um período maior (Pugnaire et al., 1994; Taiz et al., 2017).

O crescimento da cana-de-açúcar pode ser determinado a partir das análises biométricas, as quais utilizam variáveis como altura da planta, diâmetro do colmo, densidade de perfilhos, área e estrutura foliar e acúmulo sequencial de massa seca (Marafon, 2012). Estas análises permitem estimar a produtividade da cana-de-açúcar em qualquer período da safra e auxilia na simulação e modelagem 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 & Bressiani, 2008; Oliveira et al., 2016).

Silva et al. (2008) avaliaram 25 clones de cana-de-açúcar para selecionar cultivares tolerantes à seca, e observaram que na existência de estresse hídrico, a cultura manifesta diversas mudanças específicas e morfofisiológicas, tais como a redução na altura das plantas e no diâmetro dos colmos, queda de folhas verdes, porcentagem reduzida da área foliar. Assim, esses autores concluíram que, a seleção de genótipos sob condições de déficit hídrico moderado pode apresentar maior produtividade, associada à maior qualidade tecnológica e diâmetro dos colmos, possibilitando tornar mais rápido o processo de melhoramento. Para Flexas et al. (2006) e Pimentel (2004), o nível de tolerância difere entre as espécies e dentro da própria espécie, dependendo da cultivar, uma vez que as características morfofisiológicas podem apresentar diferenças, sendo que a maioria das culturas apresenta um estágio de desenvolvimento em que a deficiência hídrica causa maior redução na produção.

As variáveis biométricas monitoradas possibilitam, também, a identificação das fases de desenvolvimento da cultura em ambientes de cultivo distintos, possibilitando coincidir o máximo de desenvolvimento da planta com os períodos que têm maiores disponibilidade hídrica e radiação, o que proporcionaria melhores condições de desenvolvimento e a eficiência do acúmulo de biomassa e sacarose (Stone et al., 1999). A determinação da área foliar em

cultivares de cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o potencial produtivo da planta, devido as folhas serem responsáveis pela fotossíntese e produção de carboidratos essenciais ao crescimento (Marafon, 2012).

Segundo Irvine (1975) há uma considerável associação entre produtividade da cultura e superfície total fotossinteticamente ativa, determinada pelo Índice de Área Foliar (IAF), intimamente ligado à quantidade de luz absorvida e à fotossíntese total. Entre os fatores que podem alterar a área de captação solar, destacam-se o estresse hídrico e as diferenças genéticas entre as plantas (arquitetura da parte área). 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.

Machado et al. (2009) ao pesquisarem as respostas biométricas ao déficit hídrico, em que duas cultivares de cana-de-açúcar, em três diferentes fases fenológicas, 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 análise para quantificar os níveis de déficit hídrico que comprometem o crescimento inicial da cana-de-açúcar exposta a diferentes lâminas de irrigação, observaram 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.

Estudo feito por Oliveira et al. (2016), com análises morfológicas em variedades comerciais RB irrigadas por gotejamento subsuperficial e submetidas a diferentes reposições hídricas, concluíram que no ciclo de cana-planta todas cultivares alcançaram altura máxima com reposição de 82% da evapotranspiração aos 270 dias de cultivo e, em ciclo de cana-soca com reposição de 84% da e 71% da ET_c , respectivamente, demonstrando que para atingir a altura máxima não há necessidade de reposição máxima da ET_c . Além disso, em condições de estresse hídrico, com reposição de 40% da ET_c , tanto em ciclo de cana planta quanto em cana-soca, as cultivares tendem a apresentar maiores diâmetros. Assim, esses autores concluíram que, para se atingir a máxima altura e diâmetro não há necessidade de reposição de 100% da ET_c , contudo, observaram relação positiva entre aumento da reposição hídrica e o aumento no número de perfilhos.

Assim, o conhecimento de como as culturas respondem ao déficit hídrico é um dos pré-requisitos para selecionar a melhor cultivar e as melhores práticas de manejo, objetivando atingir maior produtividade e melhorar a utilização dos recursos naturais (Smit & Singels,

2006). No entanto, poucos são os trabalhos que avaliam o comportamento morfológico da cana-de-açúcar sob diferentes condições irrigadas utilizando variedades recentemente disponibilizadas aos produtores. Essas informações poderão contribuir com práticas de manejo mais eficazes.

4.4 Produtividade da cultura sob gotejamento

Semelhante às outras culturas agrícolas, o sistema de produção depende de um conjunto de fatores, dentre eles: relacionados à planta (cultivares, tipo de ciclo), ao solo (tipo, fertilidade), manejo de irrigação (quantidade de água, fertilizantes), as práticas culturais (época de plantio, densidade de plantio, rotação de cultura) e especialmente ao clima (temperatura, radiação, precipitação) (Marafon, 2012; Silva et al., 2012). Na safra 2021/2022, estima-se que a produtividade média será de 68,78 toneladas por hectare de cana-de-açúcar, com um decréscimo de 9,5% em comparação ao ciclo passado, com variações importantes nas estimativas do rendimento médio nas regiões que estão entre os grandes produtores do país (Conab, 2021). Estudos com diferentes variedades de cana-de-açúcar em diversas regiões produtoras do Brasil e do mundo têm salientado o incremento da produtividade com o uso da irrigação (Wiedenfeld & Enciso, 2008; Gava et al., 2011; Silva et al., 2015a; Pires et al., 2018), uma vez que, a disponibilidade de água é responsável pela variação de 44% na produtividade (Ribeiro et al., 1984).

Souza et al. (1999), em pesquisa com três variedades de cana-de-açúcar irrigada por aspersão, via canhão hidráulico, obtiveram produtividades de colmos máximas de 155,8; 126,9 e 141,9 t ha⁻¹ com lâminas totais de água de 1.568, 1.424 e 1.589 mm, respectivamente. Andrade Junior et al. (2017), avaliaram a produtividade de dez variedades de cana-de-açúcar sob diferentes manejos de irrigação (plena, sob deficiência hídrica e gotejamento subsuperficial) e concluíram que as variedades RB962962 e RB867515 apresentaram 162,3 t ha⁻¹ e 158,5 t ha⁻¹ de produtividade de colmos, respectivamente, em todos sistemas de manejo, inclusive no gotejamento subsuperficial. Oliveira et al. (2014), em estudos conduzidos no nordeste do Brasil, verificaram que, sob diferentes lâminas de irrigação por gotejamento subsuperficial, o rendimento de colmos de cana-de-açúcar obteve crescimento linear, quando comparado com as reposições de 40, 60 e 80% atingindo a produtividade de 106,24; 135,42 e 143,75 t ha⁻¹, respectivamente, evidenciando que vários fatores podem afetar o rendimento. No entanto, a reposição hídrica por meio de sistemas de irrigação eficientes colabora muito para o acréscimo da produtividade da cana-de-açúcar.

4.5 Eficiência do uso da água

O sistema de irrigação tem como objetivo aplicar água de tal maneira que a maior parte fique disponível para o aproveitamento pela planta. A cana-de-açúcar é uma cultura eficiente no uso da água, necessitando de 69 a 168 litros de água para produzir um kg de fitomassa (Casagrande & Vasconcelos, 2008). Nos últimos anos, a necessidade de melhorar a eficiência do uso da água na agricultura irrigada ganhou a atenção significativa dos pesquisadores por ser considerado um setor de elevado consumo de água. No entanto, os índices espaço-temporais de escassez de água estão aumentando em todo o mundo devido aos efeitos das mudanças climáticas, restringindo a água para a produção agrícola (Hess e Knox, 2013; Bwambale et al., 2022).

A competição de outros setores da economia pelos escassos recursos hídricos fez com que a forma como a água é usada na agricultura fosse revista. Vários estudos têm sido conduzidos para a avaliação da eficiência do uso da água (EUA), que pode ser definida como a relação entre a produtividade e a quantidade de água consumida pela cultura, a qual é de grande importância para desenvolvimento de modelos de manejo de irrigação, como também, para as previsões de safra e de produção (Ullah et al., 2019).

O aprimoramento das técnicas de manejo se torna necessário para aplicação eficiente da água, para isto é fundamental identificar a necessidade hídrica responsável pelas máximas produções, visando obter rendimentos elevados e economia de água (Wiedenfeld & Enciso, 2008; Pires et al., 2018). O manejo correto da água pode ser realizado por meio do índice de eficiência do uso da água para o planejamento e a tomada de decisão da irrigação, aumentando-se assim, a produtividade das culturas (Karatas et al., 2009). Para Azevedo et al. (2006), a aplicação de um grande volume de água de irrigação não resulta em aumento de produtividade. Isto pode ocorrer por a EUA ser influenciada por diferentes aspectos, tais como o manejo da irrigação, a morfologia da cultura, as práticas agrícolas e as variáveis atmosféricas (Hatfield et al., 2001).

Mahesh et al. (2016) em pesquisas na Índia mostraram que a utilização do sistema de gotejamento subsuperficial em relação ao gotejamento superficial, promoveu aumento da eficiência do uso da água. Gava et al. (2011) em estudo com três variedades em ciclo de cana-planta e cana-soca, em regime de sequeiro e irrigação por gotejamento subsuperficial, verificaram que a EUA em cana sob condição de sequeiro foi de $13,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ e para o tratamento irrigado $14,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente. Abdelraouf et al. (2012) em experimento com a cultura da batata avaliando a irrigação aplicada por pulsos (2, 3 e 4 vezes

por dia) sob diferentes condições de déficit hídrico (50, 75 e 100% da ETC), observaram um incremento na EUA diretamente proporcional ao número de pulsos aplicados. Além disso, esses autores observaram que ao repor 100% da ETC por meio de gotejamento pulsado (4 pulsos) obtiveram eficiência de aplicação de água de 94%, enquanto a irrigação contínua promoveu eficiência de 89%.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização, descrição e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo, durante o período de máxima demanda hídrica da região (agosto, setembro, outubro), na Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC), localizada no município de Carpina-PE (Figura 1), a 56 km do Recife. A EECAC situa-se entre as coordenadas 7° 50' 45" de latitude Sul, 35° 15' 18" de longitude Oeste e 178 m altitude em relação ao nível do mar de acordo com o sistema SAD 69 (South American Datum).

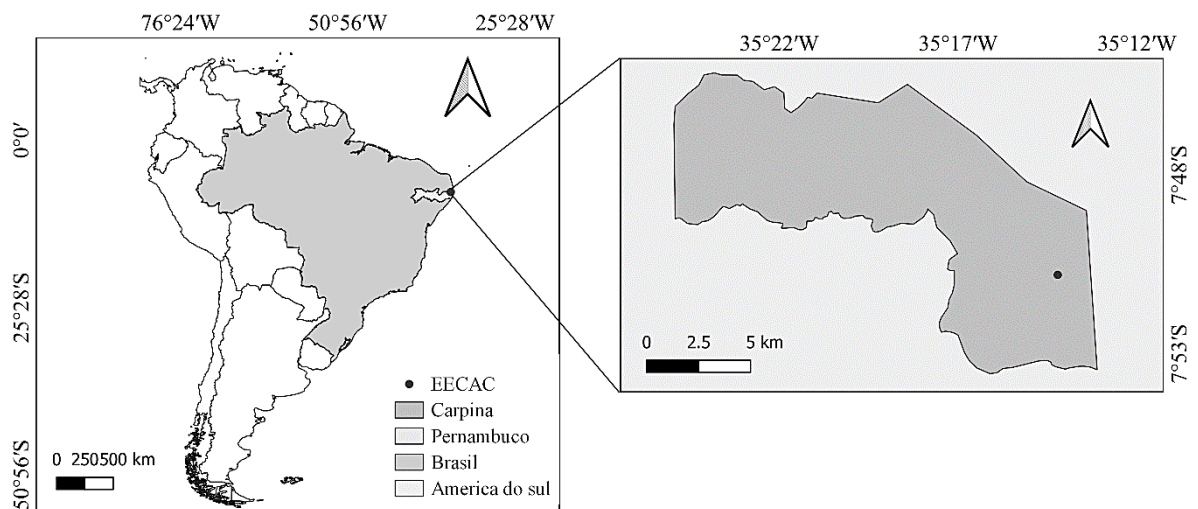


Figura 1. Localização geográfica da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC), no município de Carpina-PE.

O clima da região é do tipo As, megatérmico tropical (tropical úmido) de acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). A precipitação média é de 1.082 mm ano⁻¹, sendo que a maior concentração ocorre entre o outono e o inverno; com média de 377,9 mm no mês mais chuvoso (junho); com temperatura média anual de 24 °C, sendo a máxima e

mínima do ar de 29,1 e 21,8 °C, respectivamente; a umidade relativa do ar média 79,8%. O total de evapotranspiração média estimada para a região está entre 1.000 e 1.600 mm ano⁻¹ (INMET, 2021).

A EECAC possui uma área de 261 hectares, sendo o solo predominante da área experimental classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso, com uma característica coesiva, de acordo com EMBRAPA (2013). Na tabela 1 observa-se as características físicas do solo existente na área experimental, nas camadas de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo da área experimental.

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

Análises físicas									
Camada	Areia	Silte	Argila	Textura	Ds	Dp	θ _{CC}	θ _{PMP}	
m	-----%			-	---- g cm ⁻³ ----		---- m ³ m ⁻³ ----		
0 - 0,20	70,9	12	17,1	Franco arenosa	1,36	2,63	0,15	0,1	
0,20 - 0,40	71	9,9	19,01	Franco arenosa	1,31	2,56	0,18	0,12	

CTC- Capacidade de troca de cátions; m: Saturação por alumínio; V- Saturação por bases; M.O.- Matéria orgânica; Ds- Densidade do solo; Dp – Densidade de partícula; θ_{cc}- Umidade volumétrica na Capacidade de campo; θ_{pmp}- Umidade volumétrica no Ponto de murcha permanente.

As parcelas experimentais foram formadas por quatro fileiras duplas ou sulcos para plantio. As fileiras dispuseram de 7 m de comprimento e espaçadas no sistema de sulcos combinados 1,40 x 0,60 m, resultando em uma área de 56 m² por parcela experimental, sendo o experimento em uma área de 0,26 ha.

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos consistiram em tipos de aplicação da lâmina de irrigação (por pulso e contínua) e cinco lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 10 tratamentos (Figura 2) em esquema fatorial 2 x 5 (tipo de aplicação e lâminas de reposição, respectivamente), com quatro blocos, totalizando 40 parcelas experimentais. A aplicação por pulsos foi dividida em quatro pulsos de irrigação com intervalo de 40 minutos.

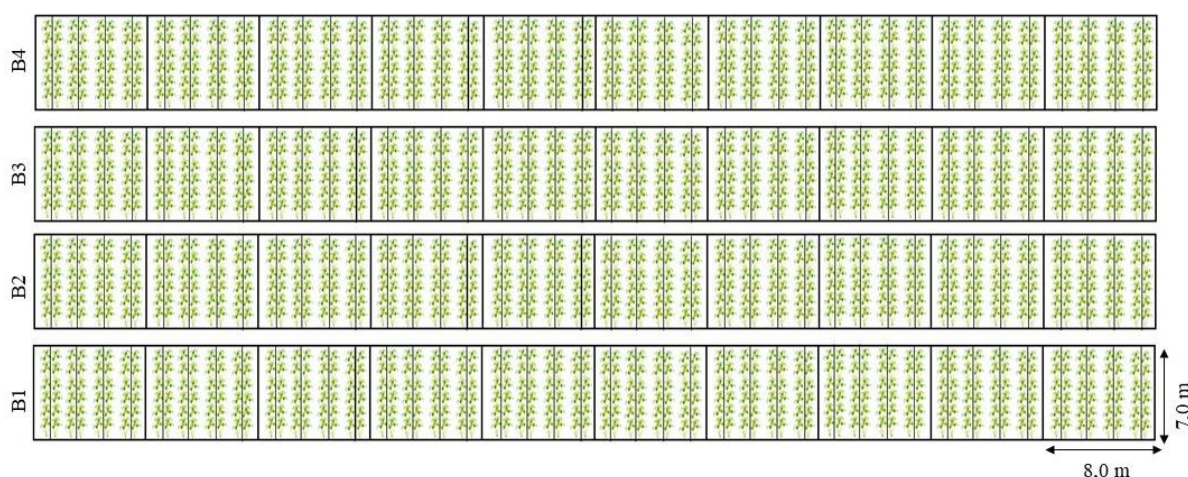


Figura 2. Croqui do experimento, demonstrando a distribuição das parcelas e dos blocos na área experimental.

5.3 Sistema e manejo de irrigação

5.3.1 Caracterização da água de irrigação

A Tabela 2 apresenta as características físico-químicas da água de irrigação, correspondentes a análise feita pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, seguindo o método padrão para exame de água e esgoto (Clesceri et al., 1998). De acordo com os resultados da análise, a água possui salinidade média, podendo ser utilizada para irrigação sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Para plantas com moderada tolerância aos sais, na maioria dos casos, o cultivo pode ser realizado sem práticas especiais de controle de salinidade.

Tabela 2. Análise físico-química da água de irrigação.

Parâmetros Analisados	VPM ¹	Resultados
Cor Aparente	15	100
Turbidez	5	6,52
Condutividade Elétrica	***	491,20
pH	6,0 a 9,5 ²	6,5
Sólidos Totais Dissolvidos	1.000	283,00
Alcalinidade de Hidróxidos	***	0,00
Alcalinidade de Carbonatos	***	0,00
Alcalinidade de Bicarbonatos	***	140,00
Alcalinidade Total	***	140,00
Dureza Total	500	92,00
Cálcio	***	16,03
Magnésio	***	12,64
Sódio	200	60,00
Potássio	***	14,00
Cloreto	250	96,11
Sulfato	250	24,82

Irrigação ³	Resultados
RAS (Relação de Adsorção de Sódio)	2,71
Classificação para irrigação	C2S1

Fonte: IPA, 2021.

¹VMP – valores máximos permitidos pra consumo humano (Portaria n° 518 do Ministério da Saúde, 2004); ²Intervalo recomendado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; ³De acordo com Daker (1988).

5.3.2 Caracterização do sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento subsuperficial a uma profundidade de 0,20 m (Figura 3). As linhas laterais compostas por tubos de polietileno de 16 mm, com emissores autocompensantes do tipo *in line* com pressão de serviço de 1 a 3 bar, espaçados a 0,50 m e saída cilíndrica (tipo PC/AS, vazão de 1 L h⁻¹).

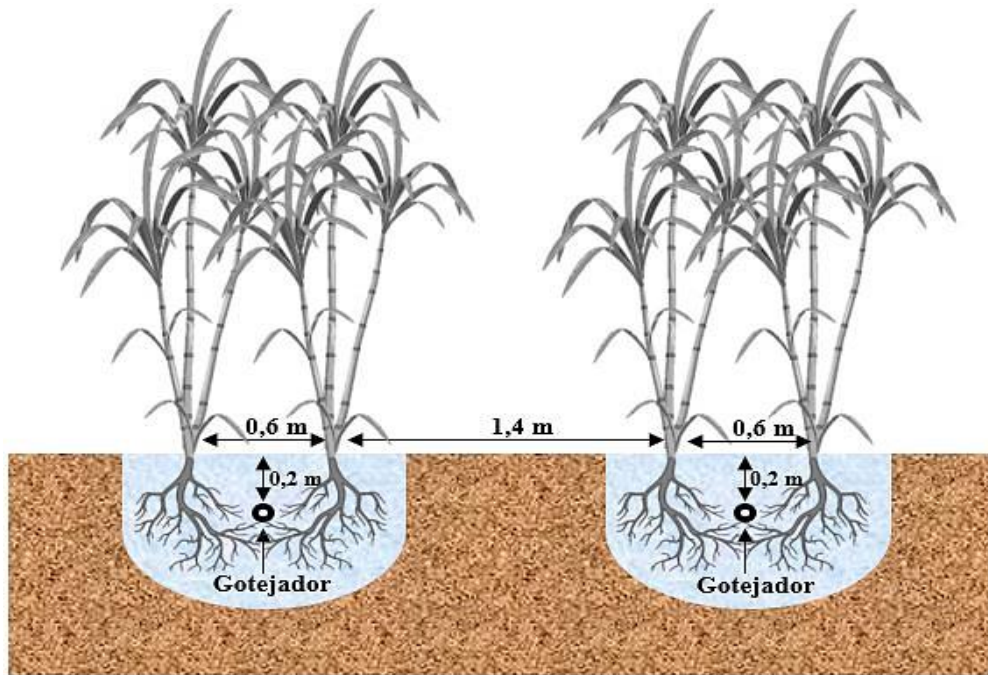


Figura 3. Layout da parcela experimental, em corte lateral, indicando a localização do gotejador.

A irrigação foi realizada manualmente utilizando válvulas para acionar/desligar a bomba. O tempo de irrigação mudou diariamente, com início às 06:00 horas e o término de acordo com a lâmina de irrigação diária a ser aplicada, sendo fixa apenas a quantidade (4 pulsos) e o tempo de intervalo entre cada pulso (40 minutos).

Teste de uniformidade foi realizado para verificar o desempenho do sistema de irrigação baseado na metodologia de Keller e Karmeli (1974), com o auxílio de proveta de 100 mL, cronômetro (por 3 minutos) e manômetro, para monitorar a pressão de serviço. Assim, foi calculado o coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD, conforme a equação 1.

$$CUD = \frac{Q^{\frac{1}{4}}}{Q_{total}} * 100 \quad (1)$$

em que:

CUD é o coeficiente de uniformidade de distribuição, %; $Q^{\frac{1}{4}}$ é a média de $\frac{1}{4}$ das vazões de menores valores, $L h^{-1}$; Q_{total} é a média de todas as vazões, $L h^{-1}$.

5.3.3 Determinação da lâmina de irrigação

5.3.3.1 Estimativa da ETc

As necessidades hídricas da cultura são expressas mediante a taxa de evapotranspiração de cultivo (ETc) em mm dia⁻¹. A irrigação foi realizada diariamente de acordo com a necessidade de água pela cultura, a qual foi obtida com base na evapotranspiração da cultura (ETc) e nos tratamentos das lâminas de reposição (40, 60, 80, 100 e 120% da ETC).

O método utilizado para determinar a evapotranspiração foi o tanque Classe A, conforme a equação 2, mediante o qual é possível estimar a demanda evaporada no ambiente indiretamente (evaporação do tanque), o qual é multiplicado por um coeficiente de correção (coeficiente do tanque, denominado Kp) a ser determinado para as condições locais, considerando dados climáticos como umidade relativa e velocidade do vento (Doorenbos e Kassam, 2000; Bandeira et al., 2011).

$$ET_o = K_p * ECA \quad (2)$$

em que:

ET_o é a evapotranspiração de referência, mm; K_p é o coeficiente do tanque; ECA é a evaporação do tanque “Classe A”, mm.

Para obter a evapotranspiração do cultivo (ETc), multiplicou-se a evapotranspiração (ET_o) de referência pelo coeficiente da cultura (K_c) e pelo coeficiente de localização (K_l = 1), como mostra a equação 3. Os valores do coeficiente da cultura (K_c) foram utilizados com base nos estádios de desenvolvimento da planta, variando entre 0,40–1,25 entre as fases de brotação e estabelecimento e crescimento máximo, reduzindo para 0,70 na fase de maturação da cultura, seguindo a recomendação de Doorenbos e Kassam (2000).

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_l \quad (3)$$

em que:

ET_c é a evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹; ET_o é a evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹; K_c é o coeficiente de cultivo, adimensional; K_l é o coeficiente de localização, adimensional.

5.3.3.2 Lâmina bruta

A lâmina bruta foi determinada através da divisão entre a evapotranspiração do cultivo pela eficiência de aplicação, como mostra a equação 4. A eficiência de aplicação é relação entre o volume de água disponível para a cultura e o volume aplicado pelo emissor, em que de acordo com o teste de coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) realizado em campo correspondeu a 93,24%.

$$L\grave{a}mina\ bruta = \frac{ETc}{Ea} \quad (4)$$

em que:

ETc é a evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹; Ea é a eficiência de aplicação, decimal.

5.3.3.3 Estimativa do tempo de irrigação e da taxa de aplicação

Para obter o tempo de irrigação (Ti), divide-se lâmina bruta pela intensidade de aplicação do sistema (Ia), conforme a equação 5. A intensidade de aplicação efetuou-se através da divisão entre a vazão dos gotejadores pela área molhada, é de 0,98 mm h⁻¹.

$$Ti = \frac{L\grave{a}mina\ bruta\ (mm)}{Ia} \quad (5)$$

em que:

Ti é o tempo de irrigação, h; Ia é a intensidade de aplicação do sistema, mm h⁻¹.

5.4 Preparo e manejo do solo

O preparo do solo foi realizado 60 dias antes da instalação do experimento pelo método convencional, e consistiu na utilização de herbicidas para dessecação dos restos culturais, seguido de subsolagem para romper as camadas coesas do subsolo que podem limitar ou restringir o crescimento das raízes; de gradagem pesada (grade aradora e grade niveladora) para destorroamento; correção da acidez do solo via calagem com calcário dolomítico aplicando-se 0,5 Mg ha⁻¹, conforme metodologia proposta por Cavalcanti et al. (2008); sistematização da área e posterior abertura dos sulcos de plantio com 25 cm de profundidade para inserir os rebolos.

5.4.1 Adubação de fundação e cobertura

A área experimental foi quimicamente corrigida conforme o resultado da análise de solo, assim, a adubação nitrogenada e potássica foi realizada seguindo as recomendações de Cavalcanti et al. (2008) de forma parcelada, aplicando-se 50% da dose no plantio e os demais 50% via fertirrigação realizada a cada 15 dias por 3 meses, totalizando 6 aplicações. As doses de N e K₂O, na fertirrigação, foram fornecidas por meio dos fertilizantes ureia e cloreto de potássio, respectivamente, e para o fornecimento de P foi utilizado o superfosfato simples na adubação de fundação. Os demais nutrientes essenciais foram fornecidos via adubação foliar e as fontes de B, Zn, Cu, Fe e Mn foram ácido bórico, sulfato de zinco, sulfato de cobre, sulfato de ferro e sulfato de manganês, respectivamente.

5.5 Descrição e condução da cultura

A variedade de cana-de-açúcar cultivada foi a RB 041443, no primeiro ciclo de cultivo (cana-planta). O plantio foi realizado em sulcos de 7 m, utilizando colmos do clone, com espaçamento de 10 cm entre as plantas. Para evitar o surgimento de ervas daninhas, pragas e doenças foi utilizado o manejo preventivo, composto pela aplicação de defensivos (herbicidas, inseticidas e fungicidas) e monitoramento das plantas diariamente realizado para controle da sanidade do cultivo.

5.6 Variáveis analisadas

5.6.1 Medidas biométricas

Para avaliação das variáveis biométricas foram realizadas quatro medidas em intervalos de 30 dias, a partir dos 237 dias antes do corte (DAC) no decorrer do ciclo da cultura, sendo em quatro amostras por parcela. Nessas avaliações, foram coletados os dados morfológicos de 10 plantas por parcela: altura do colmo (AC) e diâmetro do colmo (DC); comprimento (CF+3) e largura mediana do limbo foliar da folha +3 (LF+3); número de folhas verdes (NFV) e secas (NFS); número de perfilhos (NP) das plantas. A determinação da altura do colmo foi feita com uma fita métrica, sendo a medida feita da superfície do solo até a última folha da região auricular visível da folha +1 (primeira folha de cima pra baixo), segundo a numeração sugerida por Kujiper (Dillewijn, 1952). O diâmetro de colmo foi medido na altura correspondente a 1/3 da AC, a partir da base, com o auxílio de um paquímetro.

Para o comprimento (CF+3, cm) e largura mediana do limbo foliar (LF+3, cm) foi feita a medição na terceira folha com intercessão da bainha com limbo foliar visível conhecida como folha TVD (Top Visible Dewlap) ou folha +3 (Kuijper) considerando os extremos com o auxílio de fita métrica. Em cada avaliação, foi feita a contagem das folhas verdes (NFV, número de folhas planta⁻¹) e secas (NFS, número de folhas planta⁻¹), considerando como folhas verdes, aquelas totalmente expandidas com pelo menos 20% de área foliar verde, a partir da folha +1. O número de perfilhos (NP, número de perfilhos m⁻¹) foi determinado por meio da contagem dos perfilhos por metro linear. Com dados de comprimento e largura na porção mediana da folha +3, determinou-se a área foliar por planta (AF) das folhas verdes por meio da metodologia proposta por Hermann & Câmara (1999), conforme a equação 6.

$$AF = C * L * 0,75 * (N + 2) \quad (6)$$

em que:

AF é a área foliar, m²; C é o comprimento da folha, m; L é a largura da folha, m; 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura, adimensional; N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde, unidade.

O Índice de Área Foliar (IAF) para os respectivos tratamentos foi obtido dividindo-se a área foliar total das plantas pela área ocupada pelas mesmas de acordo com o método adaptado de Watson (1947), conforme a equação 7.

$$IAF = \frac{AF * NFV}{AOPS} \quad (7)$$

em que:

IAF é o índice de área foliar, m² m⁻² de solo; AF é a área foliar, m²; NFV é o número de folhas verdes, unidade; AOPS é a área ocupada pela planta no solo, m².

5.6.2 Produtividade

A colheita da cana-de-açúcar foi realizada manualmente, em 14 de dezembro de 2020, 360 dias após o plantio. Para estimar a produtividade de colmos (TCH), foi considerada a área útil de cada parcela assim, após o corte, todos os colmos foram pesados com o auxílio de um dinamômetro com capacidade de até 1000 kg (Figura 4). A TCH foi calculada por meio somatório da massa de todos os colmos da área útil por parcela dividido pela área ocupada em metros quadrados, logo após multiplicou-se o resultado por 10.000 que resultou em t ha⁻¹.



Figura 4. Feixes de colmos de cana-de-açúcar retirados da área útil (A) e procedimento da pesagem dos colmos (B) para cálculo da produtividade.

5.6.3 Eficiência do uso da água

A eficiência de uso da água (EUA) foi determinada por meio da relação entre a produtividade da cultura ($t\ ha^{-1}$) e o total de água fornecida durante o ciclo produtivo (mm), sendo esta composta pelo total de cada lâmina de reposição da evapotranspiração utilizada em cada tratamento, somada a precipitação ocorrida no período, conforme a equação 6.

$$EUA = \frac{\text{Produtividade (t ha}^{-1}\text{)}}{\text{Volume total de água (mm)}} \quad (6)$$

em que:

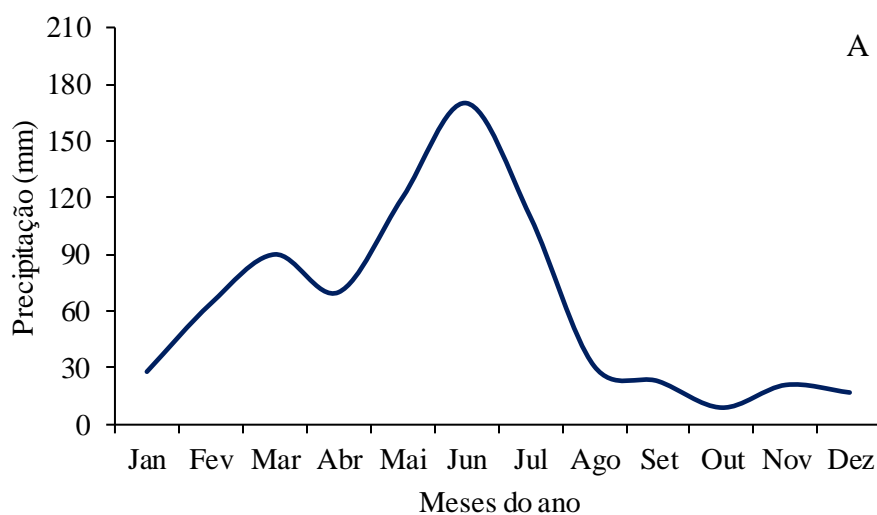
EUA é a eficiência do uso da água, $t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$.

Na tabela 3, encontra-se o volume total de água para cada tratamento, que corresponde ao somatório da lâmina de reposição da ETc com o volume de chuva anual que ocorreu na área do experimento (753 mm).

Tabela 3. Lâminas e volume total de água aplicados via gotejamento pulsado e contínuo em cada reposição hídrica.

Fração de reposição da ETC (%)	Lâmina anual (mm)	Volume Total (mm)
40	241,22	994,22
60	361,83	1.114,83
80	482,44	1.235,44
100	603,05	1.356,05
120	723,66	1.476,66

A Figura 5A apresenta a precipitação mensal registrada na Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina em 2020, onde observa-se que, no período de julho a dezembro houve maior déficit hídrico. Na Figura 5B verifica-se dos dados mensais de Precipitação, ETo, ETC, irrigação e acúmulo entre os meses de julho a outubro.



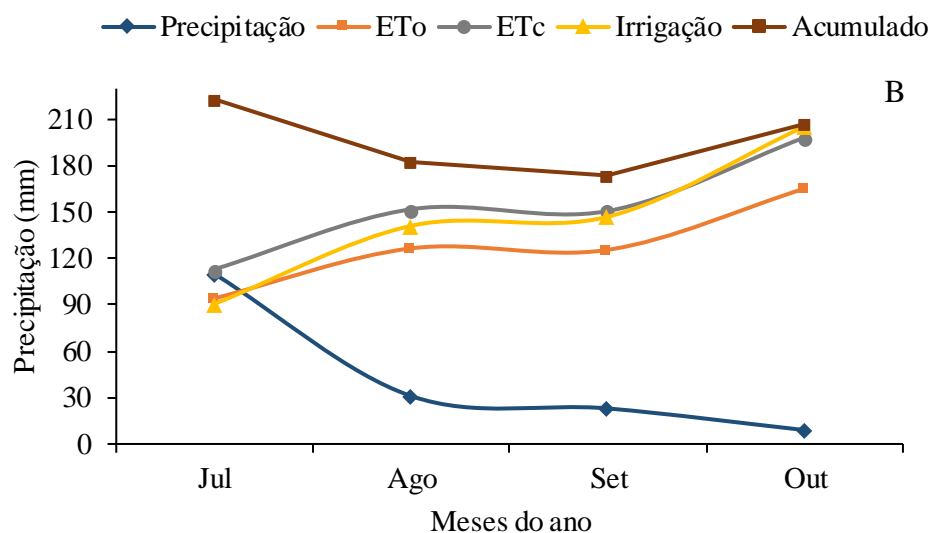


Figura 5. Registros de Precipitação anual (A) e Precipitação, ETo, ETc, Irrigação e Acúmulo (Precipitação + ETc) durante os meses de maior déficit hídrico (B) na EECAC.

5.7 Análise estatística

Os dados morfológicos foram avaliados por meio da ANOVA (análise de variância), em delineamento em blocos ao acaso, arranjos parcelas sub subdividas com condição significativa ($p < 0,05$), e os tratamentos (formas de irrigação x lâminas de irrigação x tempo) ajustados por meio de modelos de regressão simples. As análises foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2021).

Os valores da produtividade foram submetidos ao teste de normalidade, homocedasticidade e análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p < 0,05$), utilizando-se o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). Nos tratamentos onde se constatou efeito significativo, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática a 5% de probabilidade para verificar o ajuste dos valores das lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc). Para os tipos de aplicação de irrigação aplicou-se o teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os critérios utilizados para a escolha dos modelos de regressão que melhor se ajustaram foram: efeito não significativo do desvio de regressão, significância dos parâmetros da equação de ajuste ($p < 0,05$), maior coeficiente de determinação (R^2) e justificação biológica para cada variável.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Biometria

Na Tabela 4 observa-se o resultado da análise de variância para as variáveis altura do colmo, diâmetro do colmo, área foliar e índice de área foliar. A interação entre lâminas de reposição da ETc (40, 60, 80, 100 e 120%), formas de aplicação da irrigação (pulsada e contínua) e tempo (quatro medidas biométricas ao longo do ciclo) foi não significativa para todas variáveis analisadas. Contudo, quando estes fatores foram analisados isoladamente, o tempo proporcionou diferença significativa sobre as variáveis altura, diâmetro, AF e IAF a 5 e a 1% de probabilidade, indicando que a variabilidade do fator promoveu alteração no desenvolvimento da cultura.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as medidas biométricas obtidas no ciclo da cana-planta, em função das lâminas de irrigação (L), das formas de aplicação (FA) e do tempo (T).

FV	GL	Altura	Diâmetro	AF	IAF
		Quadrados Médios			
Bloco	3	0,0820	1,8241e ⁻⁰⁶	0,010553	0,6244
Tempo	3	8,4133**	1,0407e-05**	0,232364*	13,7493*
Erro	9	0,0049	5,7580e ⁻⁰⁷	0,017641	1,0438
Forma de aplicação	1	0,0106 ^{ns}	1,4100e ^{-07ns}	0,000696 ^{ns}	0,0412 ^{ns}
T x FA	3	0,0014 ^{ns}	1,3550e ^{-07ns}	0,000299 ^{ns}	0,0177 ^{ns}
Erro	12	0,0156	4,8300e ⁻⁰⁷	0,003630	0,2148
Lâmina	4	0,0008 ^{ns}	1,9230e ^{-07ns}	0,004759 ^{ns}	0,2816 ^{ns}
L x T	12	0,0005 ^{ns}	1,8690e ^{-07ns}	0,002924 ^{ns}	0,1730 ^{ns}
L x FA	4	0,0001 ^{ns}	4,7500e ^{-08ns}	0,000336 ^{ns}	0,0199 ^{ns}
L x FA x T	12	0,0000 ^{ns}	4,2100e ^{-08ns}	0,000385 ^{ns}	0,0228 ^{ns}
Erro	96	0,0127	5,6610e ⁻⁰⁷	0,002304	0,1364

*- significativo a 5% de probabilidade; ** - significativo a 1%; ^{ns} – não significativo; FV- Fontes de variação; GL- Grau de liberdade; AF- Área foliar; IAF- Índice de área foliar.

Pode-se verificar, por meio da Figura 6A, que a curva de regressão para variável altura do colmo (AC) em função do tempo. Aos 360 dias de acordo com a equação apresentada na Figura 6A, as plantas não atingiram a altura máxima pois o comportamento foi linear. 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). Caso houvesse mais tempo de monitoramento, a cultura poderia ter alcançado altura máxima com a obtenção do ápice da eficiência física, isto porque

o aumento de lâminas de irrigação corresponde ao acréscimo linear de crescimento da cultura.

A grande disponibilidade de água é um dos fatores essenciais para o crescimento dos colmos e possibilita a máxima eficiência fotossintética. Este crescimento continua até a ocorrência de algum fator limitante, como deficiência hídrica prolongada, que paralisa o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, reduzindo drasticamente a atividade fotossintética, favorecendo a concentração de sacarose e diminuição dos açúcares redutores. Resultados semelhantes foram encontrados por Abreu et al. (2013), que avaliando o crescimento e a produtividade de seis variedades de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, constataram que tanto na cana-planta quanto na cana-soca o comprimento de colmos apresentou tendência linear de crescimento em função do tempo, em todas variedades.

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 mantem-se contantes ou apresentam leve redução até a colheita (Silva et al., 2012). A partir disso, na Figura 6B, verifica-se pela derivada parcial da equação do diâmetro do colmo (DC) um aumento, sendo o ponto de máxima eficiência física (295 DAP) que proporcionou o valor de 2,47 cm.

Gunarathna et al. (2018) verificaram diâmetros médios de cana-de-açúcar entre 25 e 30 mm, e constataram que a partir de 150 dias antes o corte (DAC) ocorreu a estabilização dos diâmetros dos colmos e não observaram efeito significativo no diâmetro da cana-de-açúcar em função dos métodos de irrigação utilizados. Em estudo, 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.

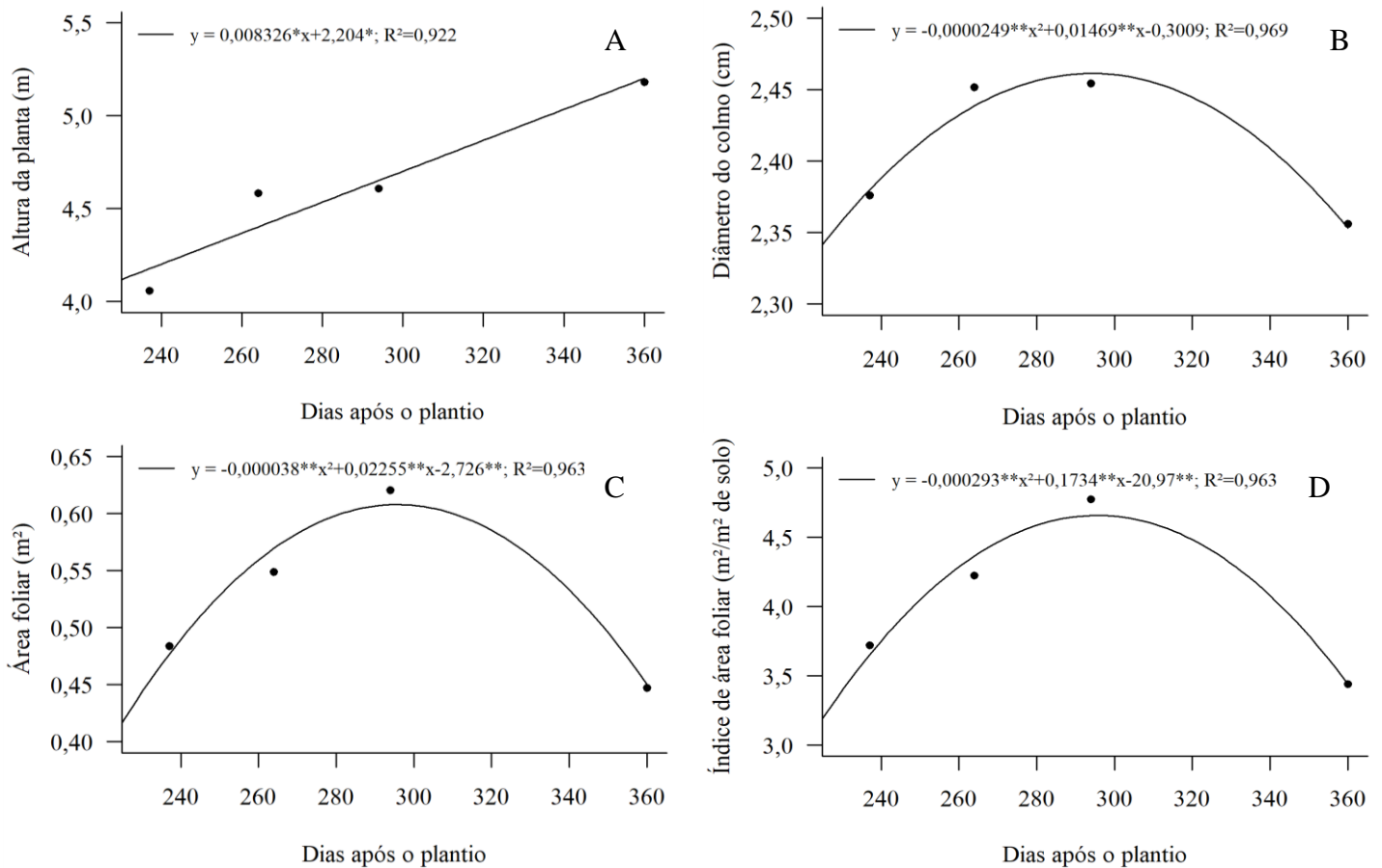


Figura 6. Altura da planta (A), diâmetro do colmo (B), área foliar (C) e índice de área foliar (D) em função dos dias após plantio.

A curva de regressão para a área foliar (AF) e para o índice de área foliar (IAF) em função dos DAP são apresentadas nas Figuras 6C e 6D, respectivamente. Na variável AF o ajuste da equação apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,96, isto indica que as dimensões foliares (comprimento e largura) permitem explicar a maior parte da variabilidade da área foliar, resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira Júnior et al. (2014). De acordo com a derivada parcial da equação, observou-se o aumento da AF até atingir o valor máximo de 0,62 m² aos 297 DAP. Segundo Silva et al. (2013), 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 afeta a expansão foliar, a qual se mantém quase invariável.

Para o IAF, o máximo de 4,68 m² m⁻² de solo foi obtido aos 296 DAP. O valor máximo das duas variáveis foram observados durante o período que houve disponibilidade hídrica, devido à condição favorável ao crescimento vegetativo, depois esses valores decresceram até

a colheita devido à senescência das folhas, em função da deficiência hídrica e da maturação da cultura. De acordo com Machado et al. (1982), o IAF ideal estaria em torno de 4,0, que seria suficiente para interceptar cerca de 95% da radiação solar. Segundo Taiz et al. (2017), maiores valores de IAF garantem as plantas maior capacidade de acúmulo de fotoassimilados e aproveitamento da energia solar e, conseqüentemente, maiores produtividades.

As variáveis analisadas são relevantes em programas de melhoramento genético, pois entre os fatores mais importantes para alcançar alta produtividade no cultivo de cana-de-açúcar está o conhecimento das características biométricas da variedade. Estas informações durante o ciclo de produção possibilitam manejar a cultura para que as fases de máximo desenvolvimento coincidam com os períodos de maior disponibilidade hídrica ou para determinar quantidades de aplicação da água via irrigação (Almeida et al., 2008; Abreu et al, 2013).

6.2 Produtividade

Na tabela 5 são apresentados os resultados dos testes de significância e o coeficiente de variação para produtividade da cana-de-açúcar em função das formas de aplicação da lâmina (pulsada e contínua) e das lâminas de reposição em função da ETc (40, 60, 80, 100 e 120%). De forma isolada, houve diferença estatística tanto para as formas de aplicação (FA) a 5% de probabilidade, quanto para as lâminas de irrigação (L) a 1% de probabilidade, indicando que a variabilidade dos fatores impostos promoveram alteração na produtividade. Enquanto que, a interação entre os fatores (FA x L) não provocou efeito significativo para a variável analisada.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para produtividade (t ha⁻¹) obtida no ciclo da cana-planta da variedade RB 041443, em função das formas de aplicação e diferentes lâminas de irrigação.

Fontes de Variação	Produtividade		
	GL	QM	Pr>Fc
Forma de aplicação (FA)	1	741,23	0,0141*
Lâminas de irrigação (L)	4	498,44	0,0056**
FAxL	4	50,95	0,7544 ^{ns}
Blocos	3	53,06	0,6897 ^{ns}
CV %	10,42		

^{ns} Não significativo; * e ** Significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Na Figura 7 está apresentada a relação existente entre a produtividade da cultura e as lâminas de irrigação no ciclo de cana-planta, na qual se observa que à medida que aumenta a lâmina aplicada ocorre crescimento da produtividade. Esse comportamento prossegue até atingir a produtividade de colmos de $105,75 \text{ t ha}^{-1}$. De acordo com a equação de regressão da Figura 6, a lâmina que proporcionou a maior produtividade foi a de 94,69% da ETc. Segundo Gava et al. (2011), o crescimento e o desenvolvimento das plantas são afetados tanto pela falta quanto pelo excesso do suprimento de água. Para Pires et al. (2018), em análise da variedade RB 855453 em ciclo de cana-planta sob irrigação por gotejamento subsuperficial contínuo, cultivada em Latossolo Vermelho distroférrico, observaram que a lâmina de 100% apresentou máxima produtividade (178 t ha^{-1}).

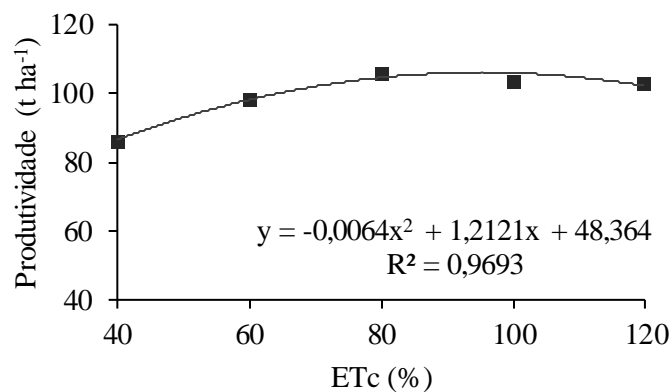


Figura 7. Produtividade da cana-de-açúcar em função das lâminas de irrigação.

Na Figura 8 observa-se o efeito isolado das formas de aplicação da irrigação na produtividade da cana-de-açúcar. Na irrigação por gotejamento pulsado, a produtividade (TCH) foi maior, com valor médio de $103,83 \text{ t ha}^{-1}$. Enquanto que, o valor médio encontrado para a irrigação por gotejamento contínuo foi de $95,22 \text{ t ha}^{-1}$. Para 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.

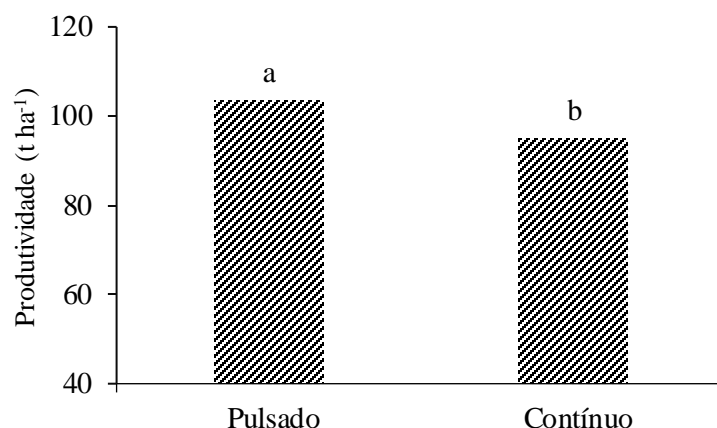


Figura 8. Produtividade da cana-de-açúcar em função das formas de aplicação da irrigação. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

6.3 Eficiência do uso da água

De acordo com a análise de variância para a eficiência do uso da água (EUA) verifica-se que não houve interação significativa entre lâminas de reposição da ET_c (40, 60, 80, 100 e 120%) e formas de aplicação da irrigação (pulsada e contínua) (Tabela 6). Entretanto, quando estes fatores foram analisados isoladamente, as lâminas de irrigação (L) e as formas de aplicação (FA) proporcionaram diferenças significativas sobre a variável a 5 e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para eficiência do uso da água ($t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) obtida no ciclo da cana-planta da variedade RB 041443, em função das formas de aplicação e diferentes lâminas de irrigação.

Fonte de Variação	EUA		
	GL	QM	Pr>Fc
Formas de irrigação (FA)	1	741,23	0,0149*
Lâminas de irrigação (L)	5	498,44	0,0006**
FA x L	4	50,95	0,7112 ^{ns}
Repetição	3	53,06	0,7052 ^{ns}
CV %	9,97		

^{ns} Não significativo; * e ** Significativo a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

A eficiência do uso da água (EUA) apresentou resposta quadrática à aplicação das diferentes lâminas totais de irrigação aplicadas (Figura 9). Com base na equação de regressão, a maior EUA ($0,087 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) seria obtida com a aplicação da lâmina correspondente a 50% da ETc. Logo após, a EUA diminui a medida em que aumenta o volume de água aplicado, devido a semelhança no incremento da produtividade.

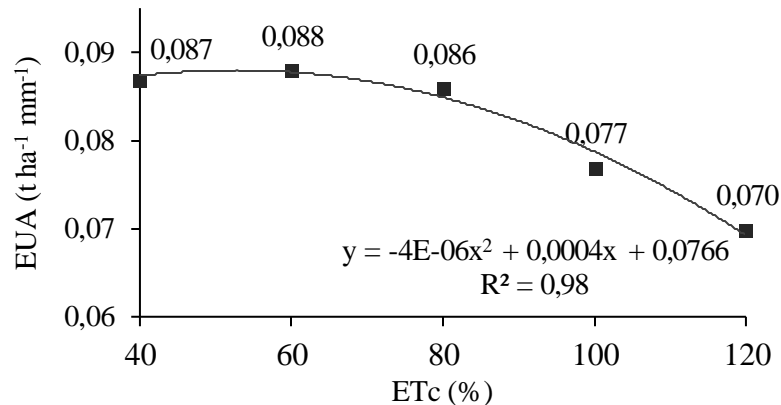


Figura 9. Eficiência do uso da água (EUA) em função das lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura.

Para Tolk e Howell (2003), o aumento da aplicação de água de irrigação pode diminuir a EUA e Azevedo et al. (2006) observaram que a irrigação com um grande volume de água, acima de 100% da ETc, não resulta em aumento da produtividade. Alamilla-Maganã et al. (2016) observaram maiores valores de EUA quando aplicadas menores lâminas de irrigação, porém a produtividade geralmente foi superior para as lâminas de irrigação maiores. Para elevar a EUA na cana-de-açúcar, é importante identificar o volume de água responsável pelas máximas produções (Wiedenfeld & Enciso, 2008). Silva et al. (2013) encontraram valores de EUA iguais a $0,083$ e $0,073 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para irrigações com reposições de 100 e 50% da ETc, respectivamente.

Na Figura 10 observa-se o efeito isolado das formas de aplicação da irrigação na eficiência do uso da água. A forma de aplicação via gotejamento pulsado proporcionou maior valor de EUA com valor médio de $0,085 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Enquanto que, o valor médio encontrado para a irrigação por gotejamento contínuo foi de $0,078 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Abdelraouf et al. (2012) e Bakker et al. (2009) estudaram o efeito do gotejamento por pulso sobre a EUA na cultura da batata, observaram que houve um aumento de 65% na EUA com irrigação pulsada (4 pulsos; 75% da ETc) em comparação com a contínua. Warner et al. (2009) aplicaram diferentes lâminas de irrigação (60, 80 e 100%) via gotejamento contínuo e pulsado (8 pulsos) na cultura do tomateiro, concluíram que o gotejamento pulsado foi capaz de reduzir cerca de 40% do uso

da água sem afetar a qualidade e a produtividade da cultura. Assim, com o mesmo consumo de água utilizado pelas duas formas de aplicação, o gotejamento pulsado possibilita atingir maiores valores de EUA.

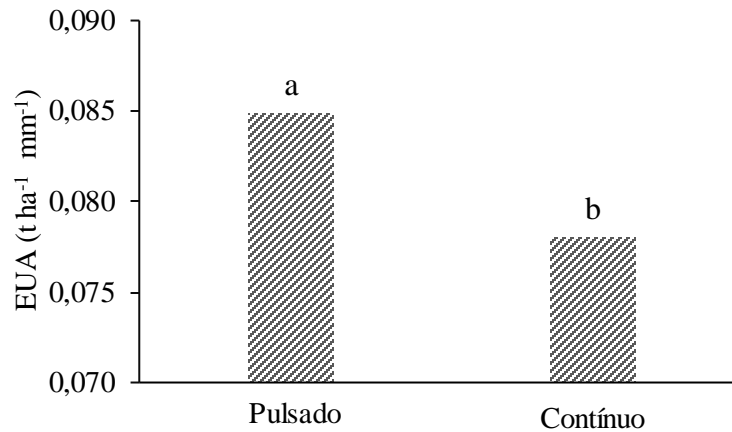


Figura 10. Eficiência do uso da água em função das formas de aplicação da irrigação. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Portanto, avaliando os valores de EUA pode-se afirmar que a irrigação por gotejamento pulsado proporciona maiores eficiências com o mesmo volume de água utilizado pelas duas formas de aplicação para todas as lâminas. As características do sistema de irrigação por gotejamento pulsado de fornecer a água próximo ao sistema radicular da cana-de-açúcar de forma fracionada, colabora para que o volume de água necessário para atender as demandas da cultura seja menor, acarretando maior economia de água.

7. CONCLUSÕES

As diferentes lâminas de reposição da ETc e as formas de aplicação da irrigação via gotejamento, de forma complementar nos meses de maior deficit hídrico da região, não influenciaram as variáveis biométricas: altura do colmo, diâmetro do colmo, área foliar e índice de área foliar.

A irrigação por gotejamento pulsado proporcionou ganhos na produtividade em relação ao gotejamento contínuo.

A lâmina de reposição equivalente a 80% da ETc aplicada por gotejamento pulsado resultou em maior produtividade. Enquanto que, a lâmina de reposição equivalente a 40% da ETc, que indica restrição hídrica, apresentou menor produtividade para as condições de gotejamento pulsado e contínuo.

A utilização do método de irrigação por gotejamento pulsado mostrou-se eficiente e preciso no cultivo de cana-de-açúcar, com maior eficiência do uso da água, com destaque para a lâmina de reposição equivalente a 60% da ETc que apresentou EUA de 0,088 t ha⁻¹ mm⁻¹, atingindo maior produtividade, com o mesmo volume de água aplicado no gotejamento contínuo.

8. REFERÊNCIAS

ABDELRAOUF, R. E.; ABOU-HUSSEIN, S. D.; REFAIE, K. M.; EL-METWALLY, I. M. Effect of pulse irrigation on clogging emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.6, n.3, p.807-816, 2012.

ABREU, M. L.; SILVA, M. D.; 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. DOI: 10.1590/brag.2013.028.

ALAMILLA-MAGAÑA, J. C.; CARRILLO-ÁVILA, E.; OBRADOR-OLÁN, J.J.; LANDEROS-SÁNCHEZ, C. VERA-LOPES, J.; JUÁREZ-LÓPEZ, J. F. Soil moisture tension effect on sugar cane growth and yield. **Agricultural Water Management**, v.177, p.264-273, 2016. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.08.004.

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. DOI: 10.1590/S1413-70542008000500013.

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, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ANDRADE JUNIOR, A. S. D.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; SILVA, P. H. Stalk yield of sugarcane cultivars under different water regimes by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 169-174, n.3, 2017. DOI: 10.1590 / 1807-1929 / agriambi.v21n3p169-174.

ARLANCH, A. B.; GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; DELLABIGLIA, W. J.; SCARPARE, F. V.; PIRES, R. C. M. Índices fisiológicos e a produtividade de genótipos de cana-de-açúcar nos manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Irriga**, v.1, n.1, p.112-124, 2018. DOI: 10.15809/irriga.2018v1n1p112-124

AZEVEDO, P. V.; SOUSA, I. F.; SILVA, B. B. Water-use efficiency of dwarfgreen coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v.84, n.3, p.259-264, 2006. DOI: 10.1016/j.agwat.2006.03.001.

BAKKER, G. A. A.; EL – EBABI, F. G.; EL-SAIDI, M. T.; ABDELGHANY, A. R. E. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, v.26, n.2, p.736-765, 2009. DOI: 10.21608 / mjae.2009.109488.

BANDEIRA, G. R. L.; PINTO, H. C. S.; MAGALHÃES, P. S.; ARAGÃO, C. A.; QUEIROZ, S. O. P.; SOUZA, E. R.; SEIDO, S. L. Manejo de irrigação para cultivo de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.29, n.1, p.237-241, 2011. DOI: 10.1590/S0102-05362011000200018.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9ed. Viçosa: UFV, 2019. 545p. ISBN: 9788572696104.

BIZARI, D. R.; GRECCO, K. L.; SOUZA, C. F. Bulbo molhado estimado pela técnica da TDR na irrigação por gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n.2, p.477-485, 2016. DOI: 10.7127/RBAI.V10N200352.

BWAMBALE E.; ABAGALE, F. K.; ANORNU, G. K. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. **Agricultural Water Management**, v.260, p.1-12, 2022. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107324.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretária de Vigilância em Saúde. **Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004**. Brasília, 2005. 28 p. ISBN: 85-334-0935-4.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cana-de-açúcar. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993, p. 31-64.

CARLIN, S. D.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R. Parâmetros biométricos e produtividade da cana-de-açúcar após tombamento dos colmos. **Bragantia**, v.67, n.4, p.845-853, 2008. DOI: 10.1590/S0006-87052008000400006.

CARNEIRO, V. A.; CASAROLI, D.; SANTOS, F. C. V. Cana-de-açúcar: uma abordagem climática. **Revista Mirante**, v.8, n.3, p.33-47, 2015. ISSN 19814089.

CARVALHO, C. M. D.; AZEVEDO, H. M. D.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. D. A.; SILVA, C. T.; GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, p.72-77, 2009. DOI: 10.5039/agraria.v4i1a12.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Fisiologia da parte aérea. IN: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; ANDRADE LANDELL, M. G. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p.57-78.

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

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v.8, n.3 – safra 2021/2022 – terceiro levantamento, Brasília, p.1-63, 2021. ISSN: 2318-7921.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. ed. Washington, DC: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 1998. 1325 p.

CRISPIM, J. E. Manejo correto da cana é essencial para alta produtividade. **Revista Campo & Negócios**, v.1, n.37, p.16-18, 2006.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem: a água na agricultura**. 7 ed. Rio de Janeiro, RJ: Frei Bastos, 1988. 543p.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In.: HEINZ, D. J. (Ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. 1987. p.7-84. EBook ISBN: 9781483289984.

DANTAS NETO, J.; FIGUEIRÊDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Reposta 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. DOI: 10.1590/S1415-43662006000200006.

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. International Irrigation Center, Estados Unidos, 1985, 95p.

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. DOI: 10.15809/irriga.2017v22n1p115-128.

DILLEWIJN, C. V. Botany of sugarcane. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.

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.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Trad. de H.R. Gheyi, A.A. de Sousa, F.A.V. Damasceno, J.F. de Medeiros. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 2000.

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. <http://doi.org/10.4236/as.2013.45036>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353p.

FARONI, C. E. **Sistema radicular de cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. 2004. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. DOI: 10.11606/D.11.2005.tde-06052005-134141.

FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; ARAÚJO NETO, R. A. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinha de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.18, n.8, p.798-804, 2014. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n08p798-804.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.

FERREIRA, F. M.; BARROS, W. S.; SILVA, F. L.; BARBOSA, M. H. P.; CRUZ, C. D.;

BASTOS, I. T. Relações fenotípicas e genotípicas entre os componentes de produção em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.66, n.4, p.605-610, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000400010.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; BOTA, J.; GALMÉS, I.; HENLDE, M.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, v.172, p.73-82, 2006. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01794.x.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KOLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejo de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.15, n.3, p.250-255, 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011000300005.

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.3; p.314-328, 2018. DOI: 10.3390/w10030314.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. **Agronomy Journal**, v.93, p.271-280, 2001. DOI: 10.2134/agronj2001.932271x.

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

HESS, T. M.; KNOX, J. W. Water savings in irrigated agriculture: a framework for assessing technology and management options to reduce water losses. **Outlook on Agriculture**, v.42, p.85-91, 2013. DOI: 10.5367/ao.2013.0130.

HOLANDA, L. A.; SANTOS, C. M.; SAMPAIO NETO, G. D. S.; SOUSA, A. P.; SILVA, M. A. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v. 19, p.573-584, 2014. DOI: 10.15809/irriga.2014v19n4p573.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension

and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p. 13-26, 2008. DOI: 10.1071/AR07167.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v.89, n.1, p.107-122, 2004. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.01.018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Norma Climatológica do Brasil 1961-1990**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inmet?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 10 dez. 2021.

IRVINE, J. E. Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugarcane yield. **Crop Science**, v.15, n.5, p.671-676, 1975. DOI: 10.2135/cropsci1975.0011183X001500050017x.

KARATAS, B. S.; AKKUZU, E.; UNAL, H. B.; ASIK, S.; AVCI, M. Using satellite remote sensing to assess irrigation performance in water user associations in the Lower Gediz Basin, Turkey. **Agricultural Water Management**, v.96, p.982-990, 2009. DOI: 10.1016/j.agwat.2009.01.010.

KARMELI, D.; PERI, G. Basic principles of pulse irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v. 100, n. 3, p.309-319, 1974.

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

KOEHLER, P. H.; MOORE, P. H.; JONES, C. A.; DELA CRUZ A.; MARETZIKI, A. Response of drip-irrigated sugarcane to drought stress. **Agronomy Journal**, v.74, n.5, p.906-911, 1982.

KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489 p.

KUNZ, J.; ÁVILA, V. S.; PETRY, M. Distribuição temporal e espacial da umidade do solo em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v.13, n.5, 2014, p.3963 – 3976. DOI: 10.5902/22361308115123.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. Manual do experimentador: melhoramento da cana-de-açúcar. In: **Metodologia de Experimentação: ensaios de competição em cana-de-açúcar**. Pindorama: Instituto Agrônomo, 1995. p.3-9.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo

varietal. In: Dinardo-Miranda, L. L.; Vasconcelos, A. C. M.; Landell, M. G. A. (Eds). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, p.101-155, 2008.

LIRA, R. M.; SILVA, E. F. F; SIMÕES NETO, D. E.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; LIMA, B. L. C.; SILVA, J. S. Growth and yield of sugarcane irrigated with brackish water and leaching fractions, Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.3, p.170-175, 2018. DOI: 10.1590/1807- 1929/agriambi.v22n3p170-175.

LOPES, O. D.; KOBAYASHI, M. K.; OLIVEIRA, F. G.; ALVARENGA, I. C. A.; MARTINS, E. R.; CORSATO, C. E. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.6, p.548-553, 2011. DOI: 10.1590/s1415-43662011000600002.

LÓPEZ-MATA, E.; TARJUELLO, J. M.; JUAN, J.A.; BALLESTEROS, R.; DOMÍNGUEZ, A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, v. 98, p.190-198, 2010. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.08.006.

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. DOI: 10.1590/S0100-204X2009001200003.

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.

MAHESH, R.; ASOKA, R. N.; ARCHANA, H. A. Performance of surface and subsurface drip fertigation on yield and water use efficiency of sugarcane. *In Proceeding of the 2nd World Irrigation Forum*, Chiang Mai, Thailand, 6-8 novembro, 2016.

MALLER, A.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; SERON, C. C.; HACHMANN, T. L. Moisture in the soil profile with water applications using pulse drip irrigation. **Revista Ciência Agronômica**, v.50, n.2, p.234-241, 2019. DOI: 10.5935/1806- 6690.20190027.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; FRANCELINO, H. O.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Revista Vértices**, v.17, n.1, p.163-181, 2015. DOI: 10.5935/1809-2667.20150011.

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R.; VIEIRA, G. H. S.; LANDIM, F. M. Eficiência no uso da água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação. **Horticultura Brasileira**. v. 31, n.4, p.602-606, 2013. DOI: 10.1590/S0102-05362013000400015.

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.

MARIN, F. R.; JONES, J. W.; SINGELS, A.; ROYCE, F.; ASSAD, E. D.; PELLEGRINO, G. Q.; BARBOSA, F. J. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in Southern Brazil. **Climate Change**, v.1, p.1-13, 2012. DOI: 10.1007/s10584-012-0561-y.

MATSUOKA, S; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoria da cana-de-açúcar. In: Borém, A. (Ed.). **Melhoramento 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. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n2p268-276/2017.

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. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i1.2136.

NIR, D. Drip irrigation. In: FINKEL, H.J. **CRC Handbook of irrigation technology**. Boca Raton: CRC Press, v.1, p.247-298, 1982.

NOGUEIRA, C. C. P.; COELHO, E. F.; LEÃO, M. C. S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.315-320, 2000. DOI: 10.1590/s1415-43662000000300002.

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. DOI:

10.17224/EnergAgric.2016v31n1p48-58.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S. Produção de biomassa de cana-de-açúcar no Vale São Francisco. **Energia na agricultura**, v.29, n.1, p.27-38, 2014. DOI: 10.17224/EnergAgric.2014v29n1p27-38.

OMETTO, J. C. Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, 1980. 17 p.

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. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.11.015.

PIRES, W. M.; TEXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; RIBEIRO, W. A.; LOPES FILHO, L. C. Cultivo da cana-de-açúcar sob diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adição de nitrogênio. **Científic@ Multidisciplinary Journal**, v.5, n.3, p. 56-87, 2018. DOI: 10.29247/2358-260X.2018v5i3.p56-87.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p. ISBN: 858572045

PUGNAIRE, F. I.; ENDOLZ, L. S.; PARDOS, J. Constraints by water stress on plant growth. **Handbook of plant and crop Stress**. New York: Dekker, 1994. p. 247-259. ISBN: 0824719484,

QUINTELA, A. C. R.; ANDRADE, L. A. B.; BOCARDO, M. R. Efeitos do plantio de cana inteira com e sem desponte, e da compactação pós-cobertura em duas variedades de cana-de-açúcar. **Acupuncture & Electro-Therapeutics Research**, v.15, n.3, p.22-24, 1997.

RIBEIRO, M. R.; HALSTEAD, E. H.; JONG, E. Rendimento da cana-de-açúcar e características das terras da microrregião da Mata Norte de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, n.2, p.209-213, 1984.

R Core Team, 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Liberção Nacional de variedades RB de cana-de-açúcar**. 1.ed. Curitiba: UFPR, 2021. 79p. ISBN: 9786599417740.

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.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Sistemas de colheita de colmos. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C (Ed). **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – tecnologia e perspectivas**. Viçosa, MG, p.271-312, 2010. ISBN: 9788589687300.

ROCHA NETO, O. C.; TEIXEIRA, A. S.; BRAGA, A. P. S.; SANTOS, C. C.; LEÃO, R. A. O. Application of artificial neural networks as an alternative to volumetric water balance in drip irrigation management in watermelon crop. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.2, p.266-279, 2015. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n2p266-279/2015.

RODOLFO JUNIOR, F.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; ROCHA, O. C.; BATISTA, L. M. T.; SILVA, F. A. M. Produtividade e qualidade de variedades de cana-de-açúcar de terceira soca sob regime hídrico variável. **Nativa**, v.4, n.1, p. 36-43, 2016. DOI: 10.31413/nativa.v4i1.3182

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. DOI: 10.14393/EDUFU/978-65-86084-00-9.

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. DOI: 10.5039/agraria.v5i4a615.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, 1987. p.373-431.

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. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n1p162-176.

SILVA, M. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; PINCELLI, R. P.; SANTOS, C. M.; MOURA, P. C. S. Características morfofisiológicas e produtividade de cana-de-açúcar variam de acordo com a cultivar e o regime hídrico. **Irriga**, v.1, n.1, p. 160-177, 2015a. DOI: 10.15809/irriga.2015v1n1p160.

SILVA, S.; DANTAS NETO, J.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; GUILHERME, B. L.; SANTOS, M. A. L. Demanda hídrica da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.9, p. 849-856, 2015b. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n9p849-856.

SILVA, M. D.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. D.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial de produtividade da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p. 241-249, 2014. DOI: 10.1590/S1415-43662014000300001.

SILVA, V. D. P.; SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, W. G.; BORGES, C. J.; SOUSA, I. F.; DANTAS NETO, J. Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in Brazil. **Agricultural Water Management**, v.128, p.102-109, 2013. DOI: 10.1016/j.agwat.2013.06.007.

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. ISSN: 1806-6690.

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, M. D. A.; SOARES, R. A. B.; LANDELL, M. G. D. Campana MP Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, v.67, n.3, p.655-661, 2008. DOI: 10.1590/S0006-87052008000300014.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, p.91-97, 2006. DOI: 10.1016/j.fcr.2005.12.009.

SINGH, P. N.; SHUKLA, S. K.; BHATNAGAR, V. K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum ssp. Hybrid complex*) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, v.90, p.95-100, 2007. DOI:

10.1016/j.agwat.2007.02.008.

SOUZA, J. M.; REIS, E. F.; BONOMO, R.; GARCIA, G. O. Wet bulb and Conilon coffee root distribution under drip irrigation. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n.1, p.93-103, 2018. DOI: 10.1590/1413-70542018421018617.

SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia Agrícola**, v.19, n.1, p.12-28, 1999.

SURENDRAN, U.; JAYAKUMAR, M.; MARIMUTHU, S. Low cost drip irrigation: Impact in sugarcane yield, water and energy saving in semiarid tropical agro ecosystem in India. **Science of the Total Environment**, v.573, p.1430-1440, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.144.

STONE, P. J.; SORENSEN, I. B.; JAMIESON, P. D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperature climate. **Field Crops Research**, v.63, n.2, p.169-178, 1999. DOI: 10.1016/S0378-4290(99)00033-7.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: **Artemed**, 2017. 858p.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A. Water use efficiencies of grain sorghum grown in three USA southern Great Plains soils. **Agricultural Water Management**, v.59, p.97-111, 2003. DOI: 10.1016/S0378-3774(02)00157-9.

WARNER, R.; HOFFMAN, O.; WILHOIT, J. The effects of pulsing drip irrigation on tomato yield and quality in Kentucky. **Fruit and Vegetable Crop Research Report**, v.1, n.11, p.39-40, 2009.

ULLAH, H.; SANTIAGO-ARENAS, R.; FERDOUS, Z.; ATTIA, A.; DATTA, A. Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. **Advances in Agronomy**, 1 ed. Elsevier Inc., 2019. DOI: 10.1016/bs.agron.2019.02.002.

VAN DILLEWINJ, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica, 1952. 371 p.

VYRLAS P.; SAKELLARIOU, M. Intermittent water application through surface and subsurface drip irrigation. **ASAE Annual International Meeting**. Tampa, Florida, 2005. DOI: 10.13031/2013.19160.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of fields crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, p.41-76, 1947. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aob.a083148.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, v.100, p.665-671, 2008. DOI: 10.2134/agronj2007.0286.

ZAMORA, V. R. O.; SILVA, M. M.; SILVA, G. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MENEZES, D.; MENEZES, S. M. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. **Horticultura Brasileira**, v.37, n.1, p.22-28, 2019. DOI: 10.1590/S0102-053620190103.

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: 02 fev. 2021.