



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL – (PPGA)**



MARIA DA LUZ LIMA SILVA

**BALANÇO HÍDRICO PARA ÉPOCAS PRECOCE, MÉDIA E TARDIA DA CANA-DE-
AÇUCAR NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS**

MARIA DA LUZ LIMA SILVA

BALANÇO HÍDRICO PARA AS ÉPOCAS PRECOCE, MÉDIA E TARDIADA CANA-DE-AÇUCAR NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra

Coorientador: Prof. Dr. Adolpho Emanuel

Quintela da Rocha

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S586b Silva, Maria da Luz Lima.

Balanço hídrico para épocas precoce, média e tardia da cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas. / Maria da Luz Lima Silva. – 2023.

35f.: il.

Orientador: Guilherme Bastos Lyra.

Coorientador: Adolpho Emanuel Quintela da Rocha

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Programa de Pós - Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2023.

Inclui bibliografia

1. Evapotranspiração. 2. Necessidade hídrica. 3. Armazenamento de água no solo.
I. Título.

CDU: 633.61(981.35)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL – (PPGA)**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TITULO: “BALANÇO HÍDRICO PARA AS ÉPOCAS PRECOCE, MÉDIA E
TARDIA DACANA-DE-AÇUCAR NOS TABULEIROS COSTEIROS DE
ALAGOAS”**

ALUNA: MARIA DA LUZ LIMA SILVA

Documento assinado digitalmente
 **GUILHERME BASTOS LYRA**
Data: 20/09/2023 10:25:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ORIENTADOR: PROF. DR. GUILHERME BASTOS LYRA

Aprovada pela Comissão Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **IEDO TEODORO**
Data: 21/09/2023 16:41:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Iêdo Teodoro

Documento assinado digitalmente
 **IVOMBERG DOURADO MAGALHAES**
Data: 20/09/2023 17:04:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ivomberg Dourado Magalhães

Data da Aprovação: 26 de Junho de 2023

A Deus pelo dom da vida; À minha família, por ser meu alicerce e meu porto seguro por todos esses anos, pelo apoio constante e pelas palavras de força e coragem, sem as quais eu não teria chegado aonde cheguei. A meus pais Manoel Fernandes Silva (que já partiu para glória), Antonio das Graças Portela, Maria do Socorro, Maria Inês da Rocha à minhas irmãs (os), Helena Silva, Roseane Silva, Daléte Ester Portela, Isac Bruno Portela, Paulo Silva e Marquezan Silva, o meu eterno obrigado eu não teria chegado aonde cheguei. Amo muito todos vocês

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A meu grandioso Deus, que sempre esteve, está e estará ao meu lado em todos os momentos, me guiando, protegendo e abençoando imensamente.

“Pois será como a árvore plantada junto a ribeiros de águas, a qual dá o seu fruto no seu tempo; as suas folhas não cairão, e tudo quanto fizer prosperará.” (Salmo 1:3).

Ao Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra, meu orientador, pela confiança depositada durante toda essa jornada e pela oportunidade de realizar este trabalho. Agradeço-o ainda, pelos incentivos e ensinamentos, sempre transmitidos, que com certeza levarei para vida toda. Na verdade, não tenho palavras que sintetizem toda minha gratidão a ele, como também ao meu querido amigo coorientador em todas as experiências profissionais da área da agronomia Prof. Dr. Adolpho Emanuel, muito obrigado pela sua amizade, carinho e pelo apoio irrestrito em todos os momentos, dedicação, e confiança que se consolidou neste período e pela grande ajuda de fazer com que se concretize esse grande sonho da conclusão de meu mestrado não sei o que faria sem sua ajuda e sua dedicação.

Aos colegas de Tuma do mestrado, a todos do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA), com também ao corpo docente do curso de Mestrado em Agronomia-Produção vegetal da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em especial aqueles que tivea oportunidade de conhecer pessoalmente: Prof. Dr. Iêdo Teodoro, Prof. Dr. Laurício Endres, Prof. Dr. Paulo Vanderlei Ferreira, Prof. Dr. Ricardo Araujo Ferreira Junior, Prof. Dr. Jorge Alberto C. de Oliveira e Prof. Dr. Gilberto Costa Justino.

A todos os amigos, com os quais Deus me presenteou pelo companheirismo, incentivo e valiosos momentos compartilhados, por muitas vezes acreditaram mais em mim do que eu mesma, e principalmente, por compartilharem comigo dessa grande conquista. Em especial toda família Marques nas pessoas do Pastor Antônio Marques sua esposa Maria Vanda Marques e seus filhos.

A minha família, que está comigo em todos os momentos da minha vida e não somente nessa jornada, por tudo que passamos juntos e por terem confiado que conseguiríamos chegar até aqui.

“Fazer a própria história é uma superação mesmo nos momentos difíceis, é acreditar que o ano passa, todavia, a criança permanece e que ainda sente a mesma essência de um vento que sempre irá soprar lá fora, mais é como estivesse soprando em seu rosto. As lembranças sempre irão acompanhar uma história, mesmo essas lembranças sendo tristes ou alegres ambas serão companheiras na vida de um indivíduo, pois foram fatos reais vivenciados. Porém o que realmente importa é saber que um dia os sonhos serão realizados e esta realização depende do Engenheiro do tempo, que se chama Deus”.

Maria da luz

RESUMO

O objetivou-se com essa pesquisa realizar o Balanço hídrico móvel para períodos de plantio da cultura da cana-de-açúcar na região de Rio Largo, AL, visando identificar o período de plantio onde a cultura terá menos estresse hídrico nessa região. As simulações da pesquisa foram realizadas entre 2015 e 2019 e foram consideradas três épocas de plantio normalmente utilizadas na região: precoce – plantio em março e colheita em fevereiro; media- plantio setembro e colheita em novembro; e tardio plantio em junho e colheita em dezembro. As variáveis analisadas foram Precipitação (P), Evapotranspiração da cultura (ET_c), Evapotranspiração Real (ET_r), Déficit hídrico (DEF) e Excesso hídrico (EXC). Os valores de precipitação, evapotranspiração da cultura, evapotranspiração real, excesso hídrico e deficiência hídrica foram diferentes entre as mesmas variedades, sendo o mesmo local e mesmo período, isso porque o tempo de lavoura é diferente. O ciclo tardio apresenta os maiores valores para as variáveis: precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ET_c), evapotranspiração real (ET_r) que os demais ciclos, já o excedente hídrico (EXC) foram iguais em todos os ciclos. Cana-de-açúcar de ciclo tardio tem maior demanda hídrica, seguidas pelas de ciclo médio e precoce. A lacuna do déficit hídrico no ciclo precoce ocorre nos meses de setembro a dezembro no período de 2015 a 2019. O excesso acontece no primeiro decêndio de março ao primeiro decêndio de junho para todos os anos. O ciclo intermediário é penalizado por déficit hídrico durante o primeiro decêndio de outubro se estendendo até o terceiro decêndio de março. O excedente hídrico ocorre no segundo decêndio de maio ao segundo decêndio de julho. O déficit hídrico é mais acentuado entre os meses de setembro a março no ciclo tardio para qualquer ano observado. O excesso é maior entre os meses de abril a agosto.

Palavras-chave: Evapotranspiração, necessidade hídrica, armazenamento de água no solo

ABSTRACT

The objective of this research was to carry out a mobile water balance for sugarcane planting periods in the region of Rio Largo, AL, in order to identify the planting period where the crop will have less water stress in this region. The research simulations were carried out between 2015 and 2019 and three planting times normally used in the region were considered: early – planting in March and harvesting in February; middle- planting in September and harvesting in November; and late planting in June and harvesting in December. The variables analyzed were Precipitation (P), Crop Evapotranspiration (ET_c), Actual Evapotranspiration (ET_r), Water Deficit (DEF) and Water Excess (EXC). The values of precipitation, evapotranspiration of the crop, real evapotranspiration, water excess and water deficiency were different between the same varieties, being the same place and the same period, because the farming time is different. The late cycle presents the highest values for the variables: precipitation (P), crop evapotranspiration (ET_c), real evapotranspiration (ET_r) than the other cycles, and water surplus (EXC) were the same in all cycles. Late-cycle sugarcane has the highest water demand, followed by mid- and early-cycle sugarcane. The water deficit gap in the early cycle occurs from September to December in the period from 2015 to 2019. The excess occurs in the first ten-day period from March to the first ten-day period from June for all years. The intermediate cycle is penalized by a water deficit during the first ten-day period in October extending to the third ten-day period in March. The water surplus occurs from the second ten-day period of May to the second ten-day period of July. The water deficit is most pronounced between September and March in the late cycle for any observed year. The excess is greater between the months of April to August.

Keywords: Evapotranspiration, water requirement, soil water storage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formula de simulação para a determinação de disponibilidade de água no solo.	19
Figura 2. Precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração real (ETr) hídrico, excesso (EXC) e déficit (DEF) hídrico da cultura da cana-de-açúcar, em Período Precoce do cultivo de cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros.	21
Figura 3. Precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração real (ETr) hídrico, excesso (EXC) e déficit (DEF) hídrico da cultura da cana-de-açúcar, em Período Médio do cultivo de cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros	23
Figura 4. Precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração real (ETr) hídrico, excesso (EXC) e déficit (DEF) hídrico da cultura da cana-de-açúcar, em Período Tardio do cultivo de cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores acumulados da precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ET_c) e real (ET_r), deficiência (DEF) e excesso hídrico (EXC) para os ciclos de cana-de-açúcar precoce, média e tardia entre os anos 2015 e 2019.	20
--	----

ABREVIATURAS

AL – Alagoas

CECA - Centro de Ciências Agrárias

UFAL - Universidade Federal de Alagoas

ds - densidade volumétrica

s- volumétrica

P- porosidade total

VIP - velocidade de infiltração básica

LIA - Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia

ET₀ - evapotranspiração de referência

K_c - coeficiente de cultura

R_n - radiação solar líquida total do gramado

e_s - pressão de saturação do vapor médio diário

e_a - Pressão atual de vapor médio diário

u₂- velocidade do vento média diária a 2m de altura

T_a-temperatura média do ar

CAD - capacidade de água disponível

D - densidade volumétrica

P - profundidade efetiva do sistema radicular das plantas

θ - umidade volumétrica

θ_s- umidade volumétrica do solo saturado

θ_{cc} - umidade na capacidade de campo

θ_{pmp} = umidade no ponto de murcha permanente

ρ - densidade do solo

ρ_a- densidade da água

ρ_s- densidade das partículas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOGERAL	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1	Cana-de-açúcar	12
3.2	Balanço Hídrico	13
3.3	Efeito do Estresse hídrico na cana-de-açúcar	15
4	METODOLOGIA	17
4.1	Localização e caracterização da área da pesquisa	17
4.2	Variáveis agrometeorológicas.....	17
5	RESULTADOS	20
	REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), o país também é destaque no mercado de bioenergia, açúcar e derivados da cultura (CONAB, 2021). Em 2021, a área colhida foi de 8,05 milhões de hectares, onde 1,15 milhões de hectares plantados, comum total de área cultivada de 9,75 milhões de hectares (CONAB, 2020).

A cana-de-açúcar é a principal fonte geradora de açúcar no mundo (KAAB et al., 2019), com uma produção superior a 300 milhões de toneladas anuais (PARIDA et al., 2020). A importância da cana-de-açúcar tem aumentado nos últimos anos, o que se deve ao fato de não ser apenas matéria-prima para a produção de açúcar, mas também uma importante cultura de biomassa eficiente e importante, além de apresentar elevado potencial para geração de bicomcombustível (SATHISH et al., 2018). Em 2020, no Brasil, foram processadas mais de 660 milhões de toneladas de cana e produzidos aproximadamente 34 bilhões de litros de etanol (BICOMBUSTÍVEL 2021).

A lavoura canavieira é a principal cultura desenvolvida em terras no Estado de Alagoas. De acordo com os dados do IBGE (2020), a cultura ocupou 63,54% de toda área agrícola do Estado no ano de 2018. Ainda em 2018, de acordo com LIMA (2021a), a produção canavieira em Alagoas representou aproximadamente 34% do total de cana-de-açúcar processada na região Norte-Nordeste e 2,6% da produção brasileira. Em 2020, Alagoas produziu 20,4 milhões de toneladas de cana, 1,8 milhão de toneladas de açúcar, 180 milhões de litros de etanol hidratado e 215 milhões de litros de etanol anidro (MAPA, 2021).

Conforme CASTRO (2012), a agricultura do nordeste do Brasil possui grande variabilidade, tanto nas culturas exploradas, quanto na tecnologia empregada para a produção agrícola, o que aliado à irregularidade climática, como os anos de secas e chuvas intensas que se alternam de formas erráticas, dificulta o desenvolvimento das culturas, levando à deterioração do solo e da água. Para CARVALHO et al., (2013), no momento de implantar determinada cultura, o produtor deve compreender a necessidade hídrica, para quantificar o volume de água necessário durante o seu ciclo de desenvolvimento, e determinar os períodos em que a cultura se encontra susceptível a falta de água reduzir perdas de rendimento.

Em Alagoas, que é o maior Estado produtor de cana-de-açúcar da Região Nordeste, tem sido observado quedas drásticas na produtividade agrícola da cultura em virtude das secas severas ocorridas nas últimas safras (TEODORO et al., 2013).

2 OBJETIVO GERAL

Determinar o balanço hídrico móvel para períodos de plantio da cultura da cana-de-açúcar na região de Rio Largo, AL, visando identificar o período de plantio onde a cultura terá menos estresse hídrico nessa região.

OBJETIVO ESPECIFICOS

- Quantificar a demanda hídrica da cana-de-açúcar em função das datas de plantio.
- Quantificar o déficit e o excesso hídrico durante os ciclos de produção da cana-de-açúcar;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar apresenta múltiplos usos, além de uma fonte primordial de açúcar, é uma importante matéria-prima para a produção de etanol (WIESBERGET al., 2021). O ciclo de produção da cultura divide-se em quatro fases fenológicas ou períodos principais (DOMINGUES, 2010; HANAUER, 2011; OLIVEIRA et al., 2011; TELLES, 2016). Os períodos se dividem da seguinte maneira: A) Germinação ou Emergência (cana-planta) ou brotação (cana-soca); B) Perfilhamento; C) Elongamento do colmo e/ ou grande crescimento; e D) Maturação (OLIVEIRA et al., 2011; TELLES, 2016). O ciclo inteiro da cana-de-açúcar pode oscilar de 330 a 540 dias, durante a vida produtiva do canavial, pode-se realizar de 5 a 6 cortes do mesmo plantio (DOMINGUES, 2010; HANAUER, 2011).

Para Manhães et al.; (2015), existem alguns fatores que possuem efeito sobre o comportamento fisiológico da cultura em relação ao metabolismo de brotação, perfilhamento, crescimento e desenvolvimento dos colmos, florescimento, maturação e produtividade. Esses fatores são as regularidades dos elementos meteorológicos (radiação solar, temperatura do ar e do solo, precipitação pluvial, umidade relativa do ar, velocidade do vento, evapotranspiração, déficit e excedente hídrico, armazenamento de água no solo durante o ciclo da cultura) são as principais causas da variabilidade da produção e da qualidade de produtos agrícolas FIGUEIRAS et al. (2019).

A cana-de-açúcar se adaptar bem as diversas condições climáticas, ela tem melhor desenvolvimento em ambiente quente e úmido, com alta radiação solar durante a fase de crescimento seguido por um período seco, ensolarado e mais frio durante as fases de maturação e colheita, que são períodos onde ocorre a síntese, translocação e alocação de carboidratos para o colmo (SILVA et al.,2014). Durante o estágio vegetativo da cultura, as temperaturas devem variar entre 25°C e 35°C, acima de 35°C observa-se a redução da fotossíntese e aumento da respiração e acima de 38°C, seu crescimento é nulo (MAGRO et al.,2011). Abaixo de 20°C reduzem a atividade fotossintética afetando, principalmente, o desenvolvimento do colmo, transporte de açúcar e armazenamento (FIGUEIREDO, 2016).

A cana-de-açúcar possui boa adaptabilidade para condições de alta luminosidade, elevadas temperaturas e baixa disponibilidade hídrica (LACERDA et al., 2019). Porém, existe um consenso na necessidade de 1.500 a 2.500 mm de precipitação ao ano/ciclo para produções satisfatórias (GAVA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2011). Contudo, existem ressalvas para produções elevadas em precipitações de 1.000 mm, quando estas são bem distribuídas ao longo do ciclo (DOMINGUES, 2010; OLIVEIRA et al., 2014).

Em condições de altas temperaturas foliares e disponibilidade hídrica limitante, as plantas respondem ao estresse hídrico com o fechamento estomático e minimizam suas perdas de água para a atmosfera. (BRUNINI, 2016). Isto é possível, porque a temperatura das plantas atua como um indicador do status hídrico da própria, sendo uma variável fundamental para monitoramento do estresse hídrico da planta (WANG et al., 2010). Por este motivo, a planta precisa encontrar condições de temperatura do ar e umidade de solo que permitam o desenvolvimento suficiente durante a fase vegetativa seguido de um período com restrição hídrica e/ou térmica para induzir o repouso vegetativo e o enriquecimento em sacarose na época de corte (BRUNINI, 2010).

No estado de Alagoas, o fator climático se agrava, em função das chuvas se concentrarem em um único período úmido de quatro a cinco meses, de abril a agosto, que coincide com a época de menor disponibilidade de radiação solar (CARVALHO et al., 2013; MAGALHÃES et al., 2019; SILVA et al., 2015). A região tem como características climáticas elevadas temperaturas (média anual de 27 °C), baixa nebulosidade, precipitação pluvial média é 1.937 mm, sendo que desse total 1.397,9 mm (72,15%) ocorre de Abril a Agosto e 539,6 mm (27,85%) precipitação entre Setembro e Março (Brito et al., 2016).

3.2 Balanço Hídrico

Em termos agrônômicos, o balanço hídrico é resultado da quantidade de água que entrou e que saiu de uma determinada camada do solo em função de um intervalo de tempo, caracterizando os períodos secos e úmidos do local estudado, sendo usado como ferramentas que podem ser empregadas para fins de planejamento e manejos agrícolas e ambientais, porém, além do emprego da ferramenta adequada, o conhecimento do local em detalhes favorece a determinação e a realização de diferentes manejos agrícola (VIANNA; SENTELHAS, 2014; PARREIRA, MARASCA, SOLINO & SANTOS, 2019). “Diante disso, o balanço hídrico climatológico (BHC) é recomendado como uma das ferramentas que permite uma primeira avaliação da distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos e da disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo, favorecendo o planejamento agrícola (SANTOS, et al., 2010).

O balanço hídrico pode ser determinado de diferentes maneiras, sendo caracterizados três tipos principais: A) Balanço Hídrico Normal apresentado de forma mensal que possui

características destinadas a análise climatológica, elaborado a partir de uma normal climatológica; B) Balanço Hídrico Sequencial que pode ser diário, semanal, decendial e etc., com finalidades de monitoramento e acompanhamento das condições climáticas; e C) Balanço Hídrico Cultural ou de culturas, que visa o monitoramento da irrigação, zoneamento, planejamento de atividades e afins” (GOBO et al., 2018).

O balanço hídrico representar a contabilização de entradas (precipitação, irrigação, orvalho e ascensão capilar, onde elas são responsáveis por mais de 99%) e saídas (evapotranspiração e drenagem profunda, onde essa é responsável por mais de 84% das perdas) de água em uma determinada região considerando uma determinada capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) e na atmosfera, ele também permite determinar os excedentes e as deficiências hídricas em períodos pontuais, possibilitando prever quando uma cultura sofrerá pela redução ou encerramento das chuvas (CECÍLIO et al., 2012; PALARETTI et al., 2011).

De acordo com MATOS et al. (2014) é de crucial importância a elaboração do BHC para uma região, já que considera os aspectos relacionados ao solo, a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas e a dinâmica de água no solo durante o período avaliado.

Independentemente da forma de determinar o balanço hídrico um dos fatores de maior destaque é a Capacidade de água no solo (CAD), ela representa o máximo de água que o solo consegue armazenar/ reter levando em consideração suas próprias características, juntamente a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas, ou seja, para cada tipo de solo e cada cultura, haverá um ou mais valores de CAD ajustados (BARBIERI et al., 2017; JERSZURKI et al., 2018).

O conhecimento da quantidade de água que entra e sai do solo permite definir os períodos com deficiência hídrica e os períodos com excedente hídrico, permitindo assim uma classificação e realização do zoneamento climático adequado, determinação de épocas de manejo como semeadura, plantio, pulverização, colheita, além da previsão de produtividade de uma região (SANTOS, et al., 2010; CECÍLIO et al., 2012). O balanço hídrico é uma informação que facilita o acesso a informações que favorecem ao agricultor conhecer sobre o momento mais propício para executar as etapas de manejo da cultura, assim como a que mais se adequa a região, incluindo também a definição na aquisição dos sistemas de irrigação e no dimensionamento da lâmina usada no sistema (PARREIRA et al., 2019).

O balanço hídrico climatológico foi desenvolvido por (THORNTHWAITE et al. 1955), portanto o balanço hídrico pode ser calculado em variadas escalas, sendo elas: a diária, a semanal, a mensal ou a anual. Tal método se mostra mais eficiente para programar e definir diversas atividades agrícolas, sendo suas variáveis simbolizadas pelas chuvas e da demanda atmosfera

(Precipitação (P), Evapotranspiração potencial (ETP), e com um armazenamento máximo apropriado para a planta cultivada, o balanço hídrico fornece estimativas do armazenamento de água no solo (ARM), Evapotranspiração real (ET_r), da Deficiência hídrica (DEF) e Excedente hídrico (EXC) (OMETTO, 1981; PEREIRA ET al., 1997).

Os modelos de balanço hídrico têm sido ferramentas essenciais, que dão fundamentos para a determinação das necessidades de irrigação e para a condução da mesma (PALARETTI ET al., 2011). O método utilizado para o cálculo do balanço hídrico do solo, com base em dados meteorológicos, é o Penman-Monteith (ALLEN ET AL. 1998), o qual combina a Evapotranspiração de referência (ET_0) com um Coeficiente de cultura (K_c) para estimar a Evapotranspiração da cultura (ET_c). Onde a Evapotranspiração da cultura (ET_c) calculada multiplicando-se a ET_0 pelo K_c da FAO a chuva e a Evapotranspiração da cultura, calculada de acordo com os valores de K_c para cada estágio fenológico (ALMEIDA et al., 2017). Para estimativa da Evapotranspiração da cultura (ET_c) utiliza-se: $ET_c = K_c * ET_0$. Sendo que a Evapotranspiração da cultura (ET_c) sofre influência, além das variáveis meteorológicas e do solo, das características intrínsecas a cada cultura, como o tipo de metabolismo e tamanho das folhas, variando, ainda, de acordo com as fases fenológicas da planta (SOUZA et al., 2015). A ET_c é ajustada em função do coeficiente único da cultura (K_c) e representa a demanda hídrica da cultura em função de suas características e das condições climáticas da região onde o cultivo está inserido.

De acordo com Sales (2014), o ponto de entrada da água no ciclo hidrológico é através da precipitação pluvial (P) e sua saída é pela Evapotranspiração potencial (ETP), que é a água que retorna à atmosfera tanto pela evaporação do solo e das águas superficiais, e através da transpiração dos vegetais.

A Evapotranspiração potencial (ETP) conceituada por Penman (1948) processo, no qual, a água é transferida para a atmosfera por unidade de tempo, por uma superfície totalmente coberta por vegetação. Ou seja, quando a evapotranspiração em uma superfície ampla e vegetada ocorre sem restrições hídricas que geralmente utiliza a grama como referência. (SANTOS, 2017).

Evapotranspiração de referência (ET_0): definida como aquela de uma cultura hipotética, com altura, albedo e resistência ao transporte de vapor de água constante e igual a 70 s m^{-1} (ALLEN et al., 1998). Dessa forma, conceitualmente a ET_0 passa a ser um valor virtual, significando que se existisse uma superfície de referência naquele local, a evapotranspiração seria igual à ET_0 (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013).

3.3 Efeito do Estresse hídrico na cana-de-açúcar

A água é um recurso extremamente necessário ao desenvolvimento das atividades agrícolas, e a sua falta ou excesso pode interferir diretamente na produção (MATOS, et al., 2015). O

conhecimento da quantidade de água que entra e sai do solo permite definir os períodos com deficiência hídrica e os períodos com excedente hídrico, permitindo assim uma classificação do clima de uma região (SANTOS, et al., 2010).

SEGUNDO FIGUEIRA et al. (2020), o déficit hídrico normalmente é o elemento meteorológico que causa mais estresse nas lavouras, reduzindo a produtividade, sendo que a fase de floração costuma ser a mais sensível. Por isso, tanto em cultivo sequeiro como irrigado (mais raro), é importante o conhecimento da necessidade hídrica da cultura (CARNEIRO, 2015).

Para CARVALHO et al.; (2013), no momento de implantar determinada cultura, o produtor deve compreender a necessidade hídrica, para quantificar o volume de água necessário durante o seu ciclo de desenvolvimento, assim é possível, determinar os períodos em que a cultura se encontra susceptível a falta de água é em última análise para reduzir perdas de rendimento.

A cana-de-açúcar é considerada de alta eficiência no uso da água, possui relação entre a produção e o volume de água utilizado (SILVA et al., 2011). A necessidade hídrica fica em torno de 1780 mm/ciclo (TEODORO et al., 2009).

“Cada fase da cultura apresenta uma demanda hídrica específica, tal necessidade oscila entre 2,0 a 6,0 mm dia⁻¹, para a maioria das regiões brasileiras, com os maiores valores para as fases de perfilhamento e alongação (DOMINGUES, 2010). A suficiência hídrica garante o bom estabelecimento de parâmetros produtivos como perfilhamento, diâmetro de colmos e altura de plantas (FAGUNDES et al., 2014).”

A cana-de-açúcar mesmo sendo plantada em regiões de boa pluviosidade, pode sofrer estresse hídrico em virtude do seu longo ciclo de produção, que varia de 12 a 18 meses e faz atravessar alguns períodos de escassez de água impedindo que expresse o seu potencial produtivo (KLEBSON, 2014).

Em situação de estresse hídrico a cana-de-açúcar pode apresentar limitações de crescimento, alteração no número de folhas, alterações metabólicas e ecofisiológicas, maior abscisão foliar e redução da área foliar (HEMEPRABHA et al., 2004; GONZAGA, 2012). Dessa forma, há a necessidade de um manejo hídrico adequado durante o desenvolvimento vegetativo para que não ocorram reduções expressivas no rendimento de colmos e de açúcar (CESCONETTO, 2017).

Na região canavieira de Alagoas, cuja média da precipitação é superior à média da evapotranspiração, o estresse hídrico continua sendo o principal fator limitante devido à distribuição desuniforme das chuvas se concentrarem em um único período úmido de quatro a cinco meses, de abril a agosto, que coincide com a época de menor disponibilidade de radiação

solar (CARVALHO et al., 2013; MAGALHÃES et al., 2019; SILVA et al., 2015). A necessidade hídrica da cultura da cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas gira em torno de 4,9 mm dia⁻¹, total 1.797 mm por ano (Teodoro et. al., 2009).

4 METODOLOGIA

4.1 Localização e caracterização da área da pesquisa

O estudo foi conduzido a partir de banco de dados meteorológicos coletados na estação meteorológica do Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), na Região de Rio Largo (“9° 29’ 45” S, “35° 49’ 54” W e altitude de 127 m), situada nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. O solo da região é classificado é como Latossolo Amarelo coeso argiloso sólido de textura médio-argilosa. As características físicas e topográficas são especificadas como: *densidade volumétrica (ds) de 1,5 Mg m⁻³, porosidade total (P) de 0,423 m³ m⁻³, velocidade de infiltração básica (VIB) de 52 mm h⁻¹ e declividade média menor que 2%. Este solo, quando mantido na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), possui valores de umidade de 0, 2445 e 0, 1475 m³ m⁻³, respectivamente (Carvalho, 2003). O clima é caracterizado pela classificação de Thornthwaite e Mather (1995), como *quente e úmido (B1), megatérmico (A’), com deficiência de água moderada no verão (s) e grande excesso de água no inverno (w2)*. A temperatura média do ar é de 23,14°C e a precipitação pluvial anual média são de 1.800 mm, com o período chuvoso iniciando na primeira quinzena de abril e terminando na segunda quinzena de outubro, à probabilidade de 80% (SOUZA et al., 2004).*

4.2 Variáveis agrometeorológicas

As simulações de balanço hídrico foram realizadas a partir de um banco de dados meteorológicos (2015 e 2019) e foram consideradas três épocas de plantio normalmente utilizadas na região: ciclo precoce – plantio em março e colheita em fevereiro; média- plantio em setembro e colheita em novembro; e tardia- plantio em junho e colheita em dezembro. As variáveis agrometeorológicas foram disponibilizadas pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA), o qual mantém uma estação automática de aquisição de dados (Modelo Micrologger CR10X, Campbell Scientific, Logan, UT, EUA). A precipitação pluvial foi obtida com um pluviômetro (TB3 TippingBucketRainGauge, Hydrological Services PTY. LTD., Sydney, Austrália). A temperatura e umidade relativa do ar foram mensuradas por um termo-higrômetro automático (HMP45C, Campbell Scientific, Logan, UT, EUA). Os dados de precipitação pluvial para a análise foram os totais por decêndios (cada mês fica dividido em três períodos. Decêndio 1: de 1 ao dia 10, decêndio 2: de 11 ao dia 20 e decêndio 3: de 21 aos dias 28, 30 ou 31). Os elementos: temperatura (T, °C) e umidade relativa (UR, %) do ar, velocidade do vento (u, m s⁻¹),

precipitação pluvial (P, mm) e radiação solar (R_s , $W\ m^{-2}$) o sistema realizava medidas a cada minuto e armazenava as médias em intervalos de 10 min. Também se obtiveram os extremos (máxima e mínima) diários da temperatura e umidade relativa do ar.

O balanço hídrico foi feito pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), utilizando a evapotranspiração da cultura (ET_c) estimada pela multiplicação da evapotranspiração de referência (ET_0) pelo K_c da FAO (Allen et al., 1998).

$$ET_c = K_c * ET_0 \rightarrow K_c = ET_c / ET_0 \quad (1)$$

Em que ET_c ($mm\ dia^{-1}$) é a evapotranspiração da cultura foi determinada pelo método do coeficiente da cultura único ($ET_c = K_c * ET_0$), sendo K_c o coeficiente da cultura e ET_0 ($mm\ dia^{-1}$) a evapotranspiração de referência, estimada pelo modelo de Penman-Monteith parametrizado no boletim FAO56 (Allen et al., 1998).

Nas estimativas de ET_c , dividiu-se o desenvolvimento da cana em três estádios (inicial, intermediário e final). Os valores de K_c para a cana-de-açúcar tabelados no boletim FAO56 foram ajustados e interpolados pela abordagem apresentada no próprio boletim (Allen et al., 1998). Os valores de K_c entre as fases inicial e intermediária e intermediária e final foram interpolados conforme sugerido por ALLEN et al. (1998). Adotaram-se os valores de K_c tabelados no boletim FAO 56: Inicial (0,4), intermediária, (1,25), e final, (0,75). A ET_0 ($mm\ dia^{-1}$) foi estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO56 (Allen et al., 1998). Conforme a equação abaixo;

$$(2) \quad ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma + \frac{900}{T+273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma [1 + 0,34 u_2]}$$

Em que, ET_0 ($mm\ dia^{-1}$) é a evapotranspiração de referência; Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar ($kPa\ ^\circ C^{-1}$); R_n é o Saldo de radiação medida em campo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); γ é o Coeficiente psicrométrico; T é a temperatura média do ar; U_2 é a velocidade média do vento a 2m de altura ($m\ s^{-1}$); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e_a é a pressão do vapor d'água do ar (kPa).

O balanço de água no solo se baseou no modelo desenvolvido por Thornthwaite & Mather (1955) para o balanço seqüencial. Porém, o valor da capacidade de água disponível (CADmm) foi padronizado em 40,0 mm nos cálculos do balanço hídrico, como também a profundidade do sistema radicular no decêndio foi 40,0 cm.

$$(3) \quad CAD_{mm} = \frac{\theta_{cc} - \theta_{pmp}}{40} DXP, i$$

Em que: CAD é a capacidade de água disponível, em milímetros; θ_{cc} é a umidade do solo quando na capacidade de campo, em porcentagem; θ_{pmp} é a umidade do solo quando no ponto de murcha permanente, em porcentagem; D é a densidade volumétrica; e P é a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas, em milímetrose o termo subscrito i representa o decêndio.

O balanço de água de Thornthwaite & Mather (1955) pode ser apresentado na forma:

$$ALT_i = (ARM_i - ARM_{i-1}) = (P_i + A_i) - ETR_i - EXC_i \quad (4)$$

Em que, ALT (mm) é a alteração no armazenamento da água do solo (ARM, mm); P (mm) é a precipitação pluvial; A (mm) é a água disponibilizada; ET_r (mm) é a evapotranspiração real e EXC (mm) é o excedente hídrico. Pode-se avaliar ainda o déficit hídrico (DEF, mm), definido como $DEF_i = ETR_i - P_i$ o termo subscrito i representa o decêndio. No início das simulações assumiu-se $ARM = CAD$, para ambos os regimes. No caso da simulação para disponibilidade de água utiliza-se apenas quando $ARM_i < AFD_i$, a disponibilizada foi contabilizada como $A_i = CAD - ARM_{i-1}$ (Pereira et al., 1997), ou seja, água plena, em que $AFD (= p \cdot CAD)$, é a água facilmente disponível e p (= 0,55) é o fator de disponibilidade de água no solo. ARM foi determinado como segue em (4) e (5), em que, NEG. ACU (mm) é o negativo acumulado. Quando $(P_i = AFD_i) - ETR_i$

$ARM_i = \begin{cases} CAD_i \exp (NEG.ACUI / CAD_i); \\ ARM_{i-1} + (P_i + AFD_i - ETR_i); \end{cases}$	$\begin{cases} \text{para } (P_i = AFD_i) - ETR_i < 0 \\ \text{para } (P_i = AFD_i) - ETR_i \geq 0 \end{cases}$
$NEG.ACUI = \begin{cases} NEG.ACUI_{i-1} - (P_i + AFD_i - ETR_i); \\ CAD_i \ln (ARM_i / CAD_i); \end{cases}$	$\begin{cases} \text{para } (P_i = AFD_i) - ETR_i < 0 \\ \text{para } (P_i = AFD_i) - ETR_i \geq 0 \end{cases}$

Figura 1. Formula de simulação para a determinação de disponibilidade de água no solo. Pereira et al., 1997.

5 RESULTADOS

O ciclo tardio apresenta os maiores valores para as variáveis: precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ET_c), evapotranspiração real (ET_r) que os demais ciclos, já o e excedente hídrico (EXC) foram iguais em todos os ciclos. Os valores da precipitação pluvial durante os três ciclos, precoce, médio e tardio (2015 a 2019) são apresentados na tabela 1. Os ciclos tardios e médios apresentaram maior concentração de precipitação pluvial, enquanto o precoce menor. Contudo, a precipitação pluvial normal é de 1.300 mm ao longo do ano enquanto na região de Rio Largo a média anual é de 1.800 mm. O ciclo tardio 2015- 2019 foram o mais chuvoso, com precipitação total de 1.883,2 mm, enquanto o ciclo precoce de 2015-2019 apresentou a chuva acumulada 1.640,8 mm. Os totais pluviométricos anuais revelaram ocorrências de precipitação elevadas, nos três ciclos, o ciclo médio e tardio apresentou chuvas anuais superiores a 1.700 mm, ou seja, espera-se ocorrência de chuvas “anuais de 1.710 mm ou mais, com 95% de probabilidade. Somente o ciclo precoce ficou com chuvas anuais inferior a 1.700 mm, sendo portando essa redução atribuída ao fenômeno chamado de El Niño, causando reduções de 57%, respectivamente de chuvas durante os anos de 2015 á 2019.

Tabela 1. Valores acumulados da precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ET_c) e real (ET_r), deficiência (DEF) e excesso hídrico (EXC) para os ciclos de cana-de-açúcar precoce, média e tardia entre os anos 2015 e 2019.

Precoce					
	P	ET_c	ET_r	DEF	EXC
2015 – 2019	1.640,8	1.949,7	1.241,6	759,1	439,1
Média					
	P	ET_c	ET_r	DEF	EXC
2015 – 2019	1.721,2	2.185,7	1.324,1	1.006,6	439,1
Tardia					
	P	ET_c	ET_r	DEF	EXC
2015 – 2019	1.883,2	2.396,1	1.486,1	1.187,9	439,1

Fonte: Silva, 2023

Nas figuras 2, 3 e 4 são apresentadas análises descendais de precipitação pluvial do três ciclo de cultivo para os três ciclos avaliados ciclo precoce, médio e tardio, no período de 2015 a 2019, juntamente com os totais descendias dos mês mais chuvoso. A precipitação total entre 2015-2019 do ciclo precoce foi 1.640,8 mm e os maiores acumula dos foram registrados entre segundo decêndio de dezembro ao segundo decêndio de setembro, perfazendo um acúmulo de 1.402,0 mm, correspondendo a 77% do total precipitado no período avaliado (**Tabela 1 e Figura 2**).

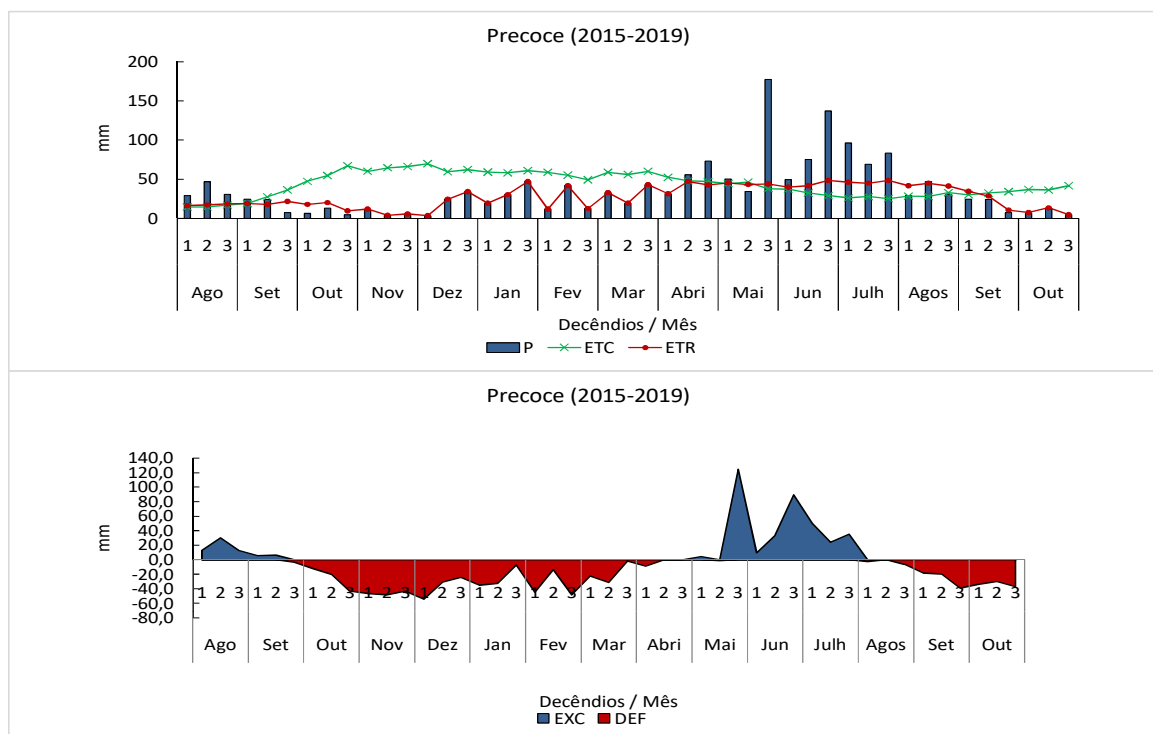


Figura 2. Precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ET_c), evapotranspiração real (ET_r) hídrico, excesso (EXC) e déficit (DEF) hídrico da cultura da cana-de-açúcar, em Período Precoce do cultivo de cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros. Fonte: Silva, 2023

No ciclo precoce no ano de 2015-2019, a evapotranspiração da cultura foi de 1.949,7 mm, com média de 3,1 mm dia⁻¹. Entre o segundo decêndio de agosto ao terceiro decêndio de dezembro a ET_c foi de 666,1 mm, no período de junho a março a ET_c foi de 516,4 de abril a outubro a ET_c atingiu 752,7 mm. A diferença entre a ET_c e a precipitação no período seco (setembro a fevereiro) é bastante acentuada e durante o período chuvoso (abril a outubro) a precipitação supera a ET_c. A quantidade de chuva na região de agosto a setembro foi suficiente para suprir a necessidade hídrica das fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar, o que mostra que a cultura não sofreu estresse hídrico no seu crescimento, porém nos meses de outubro a fevereiro quando a ET_c foi maior que a precipitação pluviométrica, a cultura sofreu estresse hídrico necessário na fase de maturação, (**Figura 2**).

A evapotranspiração real (ET_r) no ciclo precoce de produção totalizou 1.949,7 mm com média de 2,0 mm dia⁻¹, (**Tabela 1**). No primeiro decêndio de agosto ao terceiro decêndio de dezembro a ET_r foi de 238,4 mm, no período de janeiro a março a ET_r foi de 256,6 mm, de abril a outubro, a ET_r foi 746,6 mm. Durante as fases iniciais de crescimento e desenvolvimento da cultura (0 a 153 dias após o plantio) os meses de agosto a dezembro apresentaram o menor valor de evapotranspiração real sendo inferior a ET_c, em contrapartida de abril a outubro foram os meses com maior valor diferente de ET_c. É possível observar que em todos os meses do ano o volume de água proveniente da precipitação pluviométrica é superior ao da vazão, portanto o volume que sai do sistema é inferior ao que entra, (**Figura 2**).

O excesso ou déficit hídrico durante o ciclo da cultura pode ocasionar frustração de safras agrícolas e quebra na produtividade. O balanço hídrico da cultura no decorrer do ciclo precoce de cultivo da cana-planta apresentou déficit hídrico de 759,1 mm, (**Tabela 1**). Sendo que a partir do segundo decêndio de setembro ao terceiro de março ocorreu um déficit hídrico de 561,1 mm (**Figura 2**). Porém nessa fase esse déficit foi benéfico em virtude de favorecer a maturação das plantas. E do primeiro decêndio de maio ao terceiro julho ocorreu um excesso hídrico de 371,2 mm. Apesar da água excedente na estação da chuva não foi equivalente à quantidade que falta na estação seca, esse excedente hídrico foi benéfico para cultura.

No cultivo da cana-de-açúcar do ciclo médio de 2015-2019, durante a fase de desenvolvimento inicial de agosto ao terceiro decêndio de março choveu apenas 522,9 mm e do primeiro decêndio de abril ao terceiro decêndio de setembro choveu 1.094,2 mm, período de intensa precipitação pluvial, correspondendo a 61% do total precipitado no meio do período chuvoso, após esse período de chuvas seguiu-se um período de estiagem até a colheita do ciclo de cultivo, no mês de dezembro (**Figura 3**).

A ET_c do ciclo médio de 2015-2019 foi 1.721,2 mm, com média de 2,1 mm dia^{-1} , (**Tabela 1**). No primeiro decêndio de agosto ao terceiro decêndio de março a ET_c foi de 1.197,0 mm, no primeiro decêndio de abril ao terceiro decêndio de setembro a ET_c foi de 638,1 mm, primeiro decêndio de outubro ao primeiro de dezembro, a ET_c foi 350,5 mm. Os períodos que apresentaram a ET_c superior a precipitação pluvial coincidiram com as fases de desenvolvimento inicial da cultura que são os meses de setembro a dezembro, e de maturação de outubro a novembro, fazendo com que a diferença entre a ET_c e a precipitação no período seco seja bem elevada e durante o período chuvoso a precipitação não supera a ET_c , isso porque grande parte da precipitação pluvial anual, a chuva se concentrou em um pequeno período do ciclo de cultivo, fazendo com que a cultura, na fase de desenvolvimento como também na fase de maturação, passasse por estresse hídrico (**Figuras 3**).

A ET_r no ciclo médio de 2015-2019 foi 1.324,1 mm, com média de 1,6 mm dia^{-1} (**Tabela 1**). No primeiro decêndio de agosto ao terceiro decêndio de março a ET_r foi de 495,0 mm, no primeiro decêndio de abril ao terceiro decêndio de setembro a ET_r foi de 721,3 mm, primeiro decêndio de outubro ao primeiro de dezembro, a ET_r foi 107,9 mm. A fase inicial de setembro a março a ET_r foi influenciada em maior proporção pela transpiração porque nesta fase houve baixa precipitação pluvial. Na fase intermediária de janeiro a agosto a tendência ET_r ser influenciada em maior proporção pela transpiração porque o dossel da cultura já estava completamente estabelecido, porém com o início dos períodos chuvosos, ocorreu reposição da umidade do solo, de forma que houve pouca vazão, mesmo a ET_r de todos os tratamentos praticamente sendo mais inferior que a ET_c , já no final do cultivo de setembro a novembro a ET_r dos tratamentos inferior à

ET_c, pois a precipitação foi muito baixa nesse período, ocasionando déficit hídrico, a vantagem dos déficits hídricos nos finais dos ciclos é que são favorecem a maturação da cana-de-açúcar (**Figuras 3**).

Em cana-de-açúcar do ciclo de cultivo médio o déficit hídrico foi de 1.006,6 mm, sendo que 563,0 mm do primeiro decêndio de agosto no início de desenvolvimento das plantas e ao terceiro decêndio de março, e 348,1 mm no final do ciclo de cultivo, entre o primeiro decêndio de outubro ao segundo decêndio de dezembro fase de maturação (**Tabela 1 e Figura 3**). E no período de abril a setembro houve excesso de 371,2 na fase de crescimento vegetativo, equivalendo 36% do déficit total. Isso caracteriza a má distribuição das chuvas na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas e alta probabilidade de ocorrência de períodos com grandes deficiências hídricas.

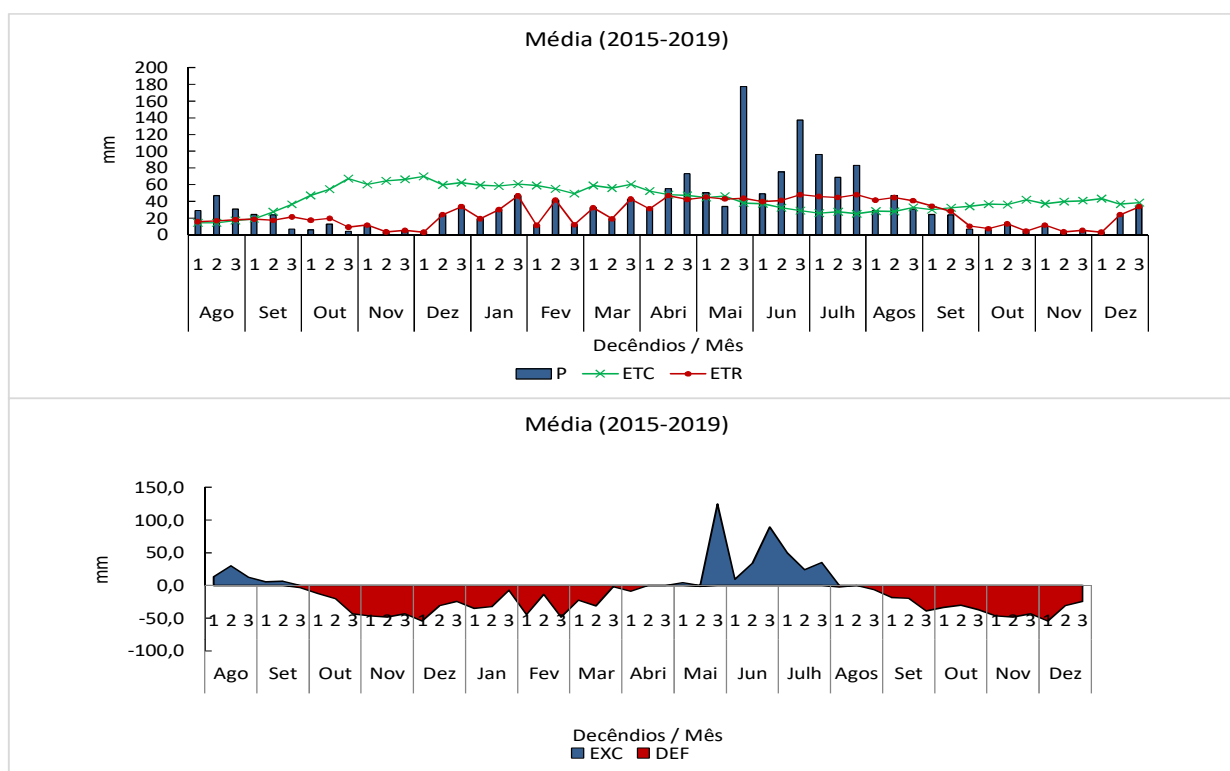


Figura 3. Precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ET_c), evapotranspiração real (ET_r) hídrico, excesso (EXC) e déficit (DEF) hídrico da cultura da cana-de-açúcar, em Período Médio do cultivo de cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros. Fonte: Silva, 2023

A precipitação pluvial no ciclo tardio da cana-de-açúcar de 2015 á 2019 foi o mais regular que os demais ciclos anteriores, perfazendo um valor de 1.883,2 mm (**Figura 4 e Tabela 1**). No período entre o primeiro decêndio de agosto ao terceiro decêndio março a precipitação pluvial foi de 522,0 mm, já entre o primeiro decêndio de abril ao terceiro decêndio de setembro a precipitação foi 1.094,4 mm, sendo esse período de intensa precipitação pluvial, correspondendo 58% de

precipitação total, após esse período de chuvas seguiu-se um período de estiagem com chuvas irregulares até a colheita do ciclo de cultivo, no mês de fevereiro (**Figura 4**).

A ET_c do ciclo tardio de 2015- 2019 foi 2.396,1 mm, com média de 2,3 mm dia⁻¹ (**Tabela 1**). No primeiro decêndio de agosto a março a ET_c foi de 1.197,0 mm, primeiro decêndio de abril a setembro a ET_c foi 638,1 mm e no primeiro decêndio de outubro a fevereiro a ET_c foi 560,9 mm. A quantidade de chuva na região seria suficiente para suprir a necessidade hídrica da cana-de-açúcar, mas devido a sua distribuição irregular, nos meses de agosto a junho do plantio à brotação das gemas em o período chuvoso ficou superior a ET_c , fazendo com que não houvesse estresse hídrico nessa fase, porém a cultura sofre estresse hídrico, principalmente nos meses de setembro a março quando a evapotranspiração supera a precipitação pluvial, sendo que esse período ocorrem no estabelecimento da cultura (emergência e perfilhamento) nos meses de abril a agosto a precipitação pluvial supera a evapotranspiração na fase de crescimento da cultura, quando ocorre o alongamento dos colmos e do sistema radicular, e de setembro a novembro a cultura também sofreu estresse hídrico necessário na fase de maturação e colheita (**Figura 4**).

A ET_r do ciclo tardio de 2015- 2019 foi 1.486,1 mm, com média de 1,4 mm dia⁻¹ (**Tabela 1**). No primeiro decêndio de agosto a março a ET_r foi de 495,0 mm, primeiro decêndio de abril a setembro a ET_r foi 721,3 mm e no primeiro decêndio de outubro a fevereiro a ET_r foi 269,9 mm. Com o início do período chuvoso na fase de crescimento ocorreu reposição da umidade do solo, de forma que a ET_r de todos os tratamentos se igualou à ET_c . Na fase vegetativa de setembro a março com a redução das chuvas o armazenamento de água no solo diminuiu e o consumo diário de água pela cultura não foi totalmente suprido, reduzindo os valores de ET_r (**Figura 4**). Na fase intermediária abril e agosto mesmo o dossel da cultura já estava completamente estabelecido é possível observar a relação da ET_r com a condição hídrica, pois não houve déficit de água no solo a ET_r foi atenuada. Na fase final a ET_r foi influenciada em maior proporção pela transpiração pois nesta fase houve baixa precipitação pluvial.

O balanço hídrico do ciclo de cultivo tardio de 2015-2019 mostra um déficit hídrico de 1.187,9 mm (**Tabela 1**). Sendo que o déficit hídrico foi dividido em dois períodos, 563,0 mm no início do crescimento das plantas entre o segundo decêndio de agosto ao terceiro decêndio de março e 529,3 mm no período final do cultivo do primeiro decêndio de outubro ao terceiro decêndio de fevereiro (**Figura 4**). Nesse ciclo ocorreram 67,9 mm de excedente hídrico, entre o primeiro decêndio de agosto ao terceiro decêndio março fase de inicial da cultura e entre primeiro decêndio de abril ao terceiro decêndio de setembro foram 371,2 mm crescimentos vegetativos da planta (**Figura 4**). Os déficits hídricos nos finais dos ciclos favoreceram a maturação das plantas, porém os estresses hídricos nos inícios dos cultivos prejudicaram o crescimento e o desenvolvimento e conseqüentemente à produtividade da cultura. Essas variáveis da cultura são

significativamente influenciadas pela disponibilidade de água no solo. O déficit hídrico final foi mais elevado que os demais ciclos, isso faz com que haja maior queda final do crescimento, por isso é importante ter o conhecimento das curvas de crescimento durante o ciclo de produção de cultivares de cana-de-açúcar para poder ajustá-las aos períodos de maior disponibilidade hídrica ou para determinar quantidades de aplicação de água via irrigação em períodos plenos ou de salvação da cultura, tendo em vista que o período de brotação, emergência e perfilhamento são os que mais sofrem com deficiência hídrica. Diante disso, nessa localidade se a água excedente na estação chuvosa fosse armazenada daria para fazer irrigação plena na cana-de-açúcar durante a estação seca. Por isso é importante ser observado o armazenamento de água no solo, pois visto que o déficit hídrico pode resultar, principalmente, na redução da produtividade das culturas.

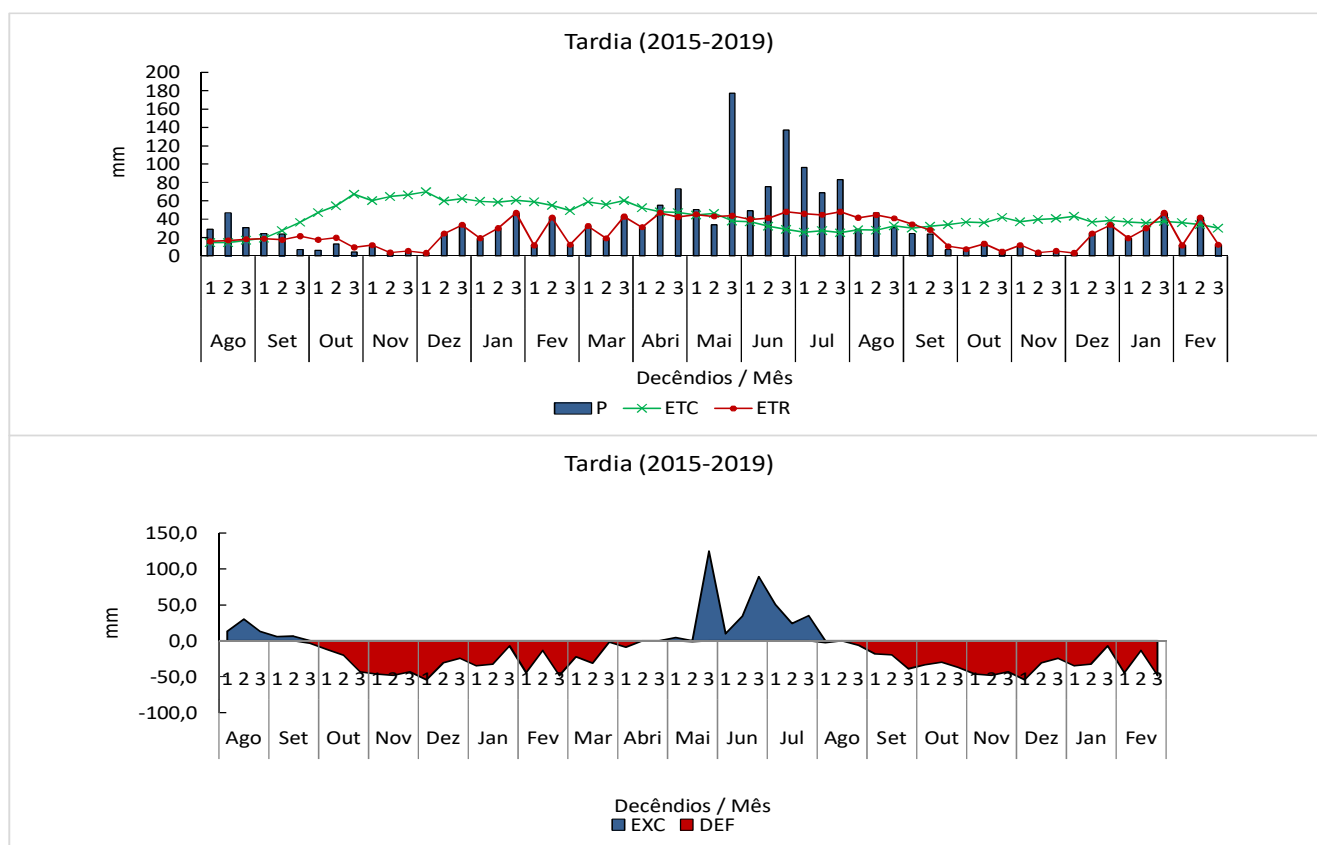


Figura 4. Precipitação (P), evapotranspiração da cultura (ETc), evapotranspiração real (ETr) hídrico, excesso (EXC) e déficit (DEF) hídrico da cultura da cana-de-açúcar, em Período Tardio do cultivo de cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros. Fonte: Silva, 2023

Discussão

O estado de Alagoas, devido a sua localização geográfica ele apresenta características climáticas irregulares na chuva e também pouca variação na sazonalidade da radiação solar, do fotoperíodo e temperatura do ar (Tar), a alta incidência solar anual e de evapotranspiração (ETP) se deve a sua proximidade da linha do equador (BARROS et al., 2012; OLIVEIRA JÚNIOR et al.,

2021). A precipitação pluvial nessa região recebe influência da massa de ar tropical marítima e da penetração do ar frio polar (Ratisbona, 1976; Kousky, 1979; Oliveira, 1986; Cavalcanti et al., 1996), principalmente os sistemas frontais, ou seus restos, que atingem o sul da Bahia. Estudos apontam que os menores índices pluviométricos do estado estão relacionados com o El Niño, e a circulação geral atmosférica e oceânica em grande escala sobre os trópicos (MOLION; BERNARDO, 2002, BARROS et al., 2012; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021). O fenômeno El Niño/Oscilação Sul não apresentou nítida correlação com o período chuvoso dessa região, indicando uma tendência em diminuição das chuvas no período seco (Lima 1991).

De acordo com Souza et al. (2004), na zona canavieira alagoana a precipitação pluvial normal é de 1.300 mm ao longo do ano enquanto na região de Rio Largo a média anual é de 1.800 mm, no entanto, aproximadamente 70% das chuvas se concentram no período de abril a agosto (estação chuvosa). Com o período chuvoso concentrado no outono - inverno e o período seco na primavera – verão (Lima, 1991; Souza & Lima, 1995). Sindaçucar, (2011), também relata que a distribuição das chuvas Na zona canavieira alagoana, a precipitação pluvial média é de 1.937 mm, sendo que desse total 1.397,9 mm (72,1%) ocorrem de abril a agosto e 539,6 mm (27,8%) precipitam-se entre setembro e março.

“Além da questão do fenômeno El Niño, Alagoas tem outro fator climático que se agrava, que é em função das chuvas se concentrarem em um único período úmido de quatro a cinco meses (abril – agosto), que coincide com a época de menor disponibilidade de radiação solar (Santos et al., 2009). De acordo com os resultados do ciclo precoce a chuva efetiva foi de 1640,84 mm. Esses valores estão abaixo da necessidade hídrica da cultura, que é de 1.800 a 2.500 mm por ciclo (Doorembos e Kassan, 1979).”

Sobre a evapotranspiração da cana-de-açúcar pode ser influenciada por uma série de fatores, que são, muitas vezes, inerentes às condições ambientais, técnicas de cultivo, uso de irrigação, momento de plantio, período de colheita e cultivares e, portanto, é comum se encontrar estudos com diferentes valores de requerimento hídrico necessário para a cultura (Silva, 2009). A necessidade hídrica da cultura da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas está em torno de 4,9 mm dia⁻¹, totalizando 1.797 mm por ano (TEODORO et al., 2009). Analisando-se os resultados de acordo com (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2010) relatam que em relação ao requerimento hídrico da cana-de-açúcar, o valor de precipitação anual nas principais regiões produtoras está entre 1.000 e 1.600 mm. Diola e Santos (2011) defende que um total de chuva entre 1.100 e 1.500 mm é suficiente ao bom desenvolvimento da cultura. Sendo que a distribuição das chuvas ao longo do ciclo também é um fator que deve ser considerado. Durante o crescimento vegetativo, as chuvas devem ser abundantes, porém na fase de maturação, períodos secos favorecem o acúmulo de sacarose nos colmos (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS;

LANDELL, 2010). Os resultados da pesquisa alguns períodos apresentaram a ET_c superior a precipitação pluvial coincidiram com as fases de desenvolvimento inicial da cultura e de maturação. No entanto os valores obtidos da ET_c no presente estudo, estão dentro do intervalo dos valores revisados por Santos (2005), que encontrou valores médios, mínimos e máximos de ET_c , variando de 2,33 a 5,70, 0,52 a 4,10 e 3,7 a 8,60 mm dia⁻¹, respectivamente, para estudos realizados em diferentes regiões do mundo, para diferentes variedades e sistemas de produção. Como também está de acordo com Lyra et al. (2007) observaram em dois cultivos de cana-de-açúcar (de 15 meses cada) na usina Cachoeira, localizada em Maceió-AL, uma evapotranspiração da cultura acumulada no primeiro cultivo de 2.050 mm e no segundo, 1.950 mm, o que representou médias diárias de 4,5 mm dia⁻¹ e 4,3 mm dia⁻¹, respectivamente.

Na fase final do ciclo médio e o tardio a ET_r foi reduzida drasticamente devido ao estresse hídrico provocado, pois a proximidade da colheita exige estresse hídrico para induzir as plantas à maturação, ou seja, diminuir o consumo de água e as reações metabólicas, induzindo a translocação e o armazenamento dos açúcares (CASTRO, 2002). Silva (2009) em experimento conduzido em área comercial no município de Juazeiro, na região semiárida do estado da Bahia com a variedade RB 92579 irrigada por gotejamento e utilizando o método do balanço de energia com base na Razão de Bowen verificou valores máximos de ET_r da cultura para a Fase II (crescimento vegetativo) de 5,1 mm dia⁻¹, destacando-se como o mais elevado do ciclo produtivo.

De acordo com Costa (2015) os períodos críticos para o crescimento da cana-de-açúcar, em relação à água, ocorrem no estabelecimento da cultura (emergência e perfilhamento) e no crescimento vegetativo, quando também ocorre o alongamento dos colmos e do sistema radicular. Pois essa condição de limitação hídrica influencia a produtividade agrícola, sendo que um dos maiores efeitos é a redução do perfilhamento das plantas (MACHADO, 1987). Ainda corroborando com os dados apresentados na Figura 1, 2 e 3, Silva et al., (2002) também afirmam que as conseqüências das irregularidade da precipitação pluvial refletem nas variações do rendimento das culturas. Gonçalves et al. (2017) constataram que o período de crescimento é crítico para a demanda hídrica da cana-de-açúcar, logo os danos causados pelo estresse hídrico, nesta fase, são mais prejudiciais à produção. (Doorenbos e Kassam, 2000) relatam que um perfilhamento vigoroso no início do ciclo da cultura é importante, pois, irá proporcionar brotos, aproximadamente, da mesma idade, assim, as plantas atingem ponto de maturação na mesma época e, conseqüentemente, facilita o processo de colheita.

As relações hídricas desempenham papel importante no alongamento dos perfilhos e no crescimento final dos colmos da cana-de-açúcar (CHANG et al., 1968; GASCHO et al., 1983). Assim, há grande probabilidade de ocorrer déficit hídrico em cultivos de sequeiro durante os meses de outubro a fevereiro Carvalho et al. (2013b), concluíram, com base na estimativa de

probabilidade de 80%, que a estação chuvosa na região de Rio Largo, AL, se inicia em abril e termina em outubro. Ocasionalmente e mesmo durante a estação chuvosa, há períodos sem chuva superiores há sete dias, os quais provocam pequenos estresses hídricos nas plantas (Carvalho et al., 2013a).

Holanda et al. (2014), tentando determinar saídas para contornar o efeito significativo do déficit hídrico na produtividade agrícola, o comportamento de algumas variedades de cana-de-açúcar em diferentes condições de deficiências hídricas para auxiliar na seleção de genótipos tolerantes à seca e perceberam que as variáveis morfológicas foram eficientes para diferenciar as cultivares em tolerantes e susceptíveis. Vianna e Sentelhas (2014) verificaram o risco de déficit hídrico da cultura da cana-de-açúcar em diferentes regiões do Brasil, varia de acordo com a capacidade de retenção de água no solo e que a região de Rio Largo-AL, apresenta maior risco devido à variabilidade climática com baixa precipitação ao longo do ano, elevadas temperaturas durante o dia e reduzida capacidade de retenção de água no solo. De acordo com Sentelhas (2018) o déficit hídrico é caracterizado quando a evapotranspiração real é menor que a evapotranspiração da cultura, ou seja, quando a precipitação for menor que a taxa de transpiração.

CONCLUSÕES

Cana-de-açúcar de ciclo tardio tem maior demanda hídrica, seguidas pelas de ciclo médio e precoce. O déficit hídrico é mais acentuado entre os meses de setembro a março no ciclo tardio para qualquer ano observado. O excesso é maior entre os meses de abril a agosto.

O ciclo intermediário é penalizado por déficit hídrico durante o primeiro decêndio de outubro se estendendo até o terceiro decêndio de março. O excedente hídrico ocorre no segundo decêndio de maio ao segundo decêndio de julho. A lacuna do déficit hídrico no ciclo precoce ocorre nos meses de setembro a dezembro no período de 2015 a 2019. O excesso acontece no primeiro decêndio de março ao primeiro decêndio de junho para todos os anos.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Cropevapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiração das culturas: diretrizes para o cálculo da necessidade de água nas culturas Documento de Irrigação e Drenagem 56, **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**, Roma, Itália, 1998.
- ALMEIDA, T. S.; SEDIYAMA, G. C.; ALENCAR, L. P. **Estimativa da produtividade de cafeeiros irrigados pelo método zona agroecológica espectral**. Engenharia na Agricultura, v.25, n.1, p.1-11, 2017.
- BARBIERI, J. D. et al. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo para a microrregião de BAP (MT). RICA, v.8, n.1, p.21-28, 2017.
- Barros, A. H. C., de ARAUJO FILHO, J. C., Da Silva, A. B., & Santiago, G. A. C. F. (2012). Climatologia do estado de Alagoas. **Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**.
- BRASIL. Brasil avança no setor de bicomcombustíveis, 2021. Disponível em: . Acesso em: 05 jan. 2022.
- BRITO, J. E. D.; ALMEIDA, A. C. S.; LYRA, G. B.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L. Produtividade e eficiência de uso da água em cultivo de feijão sob diferentes coberturas do solo submetido à restrição hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n.2, p.565-575, 2016.
- BRUNINI, O; DINARDO-MIRANDA, L. L; VASCONCELOS, A. C. M; ANDRADE, L. M. G. **Ambientes climáticas explorações agrícolas da cana-de-açúcar**. 1. ed. 8, 882 p. cap. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 2010.
- BRUNINI, R. G. Índice de estresse hídrico na cultura de cana-de-açúcar, em superfícies irrigadas sobre diferentes exposições e declividades. 2016. 60p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2016.
- CAMPOS, J. H. B. C. Impactos das alterações climáticas sobre a área de cultivo e produtividade de milho e feijão no Nordeste do Brasil usando modelagem agrometeorológica. 2010. 93p. Tese – Doutorado. (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.
- CARNEIRO, V. A. Cana-de-açúcar: Uma abordagem climática. **Revista mirante**, Anápolis (GO), v. 8, n. 3, 2015. ISSN 19814089.
- Carvalho, A. L.; Souza, J. L.; Lyra, G. B.; Porfírio, A. C. S. Ocorrência de períodos secos na região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, p.173-180, 2013a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000200006>
» <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000200006>.

Carvalho, A. L.; Souza, J. L.; Lyra, G. B.; Silva, E. C. Estação chuvosa e de cultivo para a região de Rio Largo, Alagoas baseada em métodos diretos e sua relação com o El Niño - Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, p.192-198, 2013b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000200008>

» <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000200008>.

CARVALHO, A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SILVA, E. C. Estação chuvosa e de cultivo para a região de Rio Largo, Alagoas baseada em métodos diretos e sua relação com o El Niño – Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 28(2):192- 198, 2013. 10.1590/S0102-77862013000200008.

CARVALHO, H. P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R. E. F. MELO, B. **Balanço hídrico climatológico**, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. *Biociência Jornal*, v.27, n.2, p.221-229, 2011.

CARVALHO, I. R; KORCELSKI, C; PELISSARI, G; HANUS, A. D; ROSA, G. M. **Demanda hídrica das culturas de interesse agrônomo**. Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p.969, 2013.

CARVALHO, L. C. et al. **Cana-de-açúcar e álcool combustível: Histórico, sustentabilidade e segurança energética**. *Biosfera*, v.9, n.16, p.530-543, 2013.

CARVALHO, L. C. et al. **Cana-de-açúcar e álcool combustível: Histórico, sustentabilidade e segurança energética**. *Biosfera*, v.9, n.16, p.530-543, 2013.

CASTRO, C. N. A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. BRASÍLIA: IPEA, 2012 (Texto para Discussão do IPEA n. 1786).

CASTRO, P. R. C. Acúmulo de Sacarose no Colmo da Cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v.21, n.2, p.32-33, 2002.

CAVALCANTI, E.A.B. et al. Informações meteorológicas da região de Rio Largo-AL, ano 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro, Anais..., Rio de Janeiro: **Sociedade Brasileira de Meteorologia**, 2000. p. 1209-1216.

CAVALCANTI, I. F. A.; ABREU, M. A.; SATYAMURTI, P. Climanálise especial edição comemorativa de 10 Anos. São José dos Campos, INPE, 1996.235p.

CECÍLIO, R. A. et al. **Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico**. *PAB*, v.47, n.4, p.478-488, 2012.

CECÍLIO, R. A. et al. **Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico**. *PAB*, v.47, n.4, p.478-488, 2012.

CESCONETTO, L. B. Potencialidade da expansão da cana-de-açúcar irrigada considerando a disponibilidade hídrica natural e potencial. 2017. f87. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, (UFV) Viçosa – MG, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safra 2020-2021. Terceiro o Levantamento (Dezembro de 2020). Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso: Abril de 2021.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Brasília. Safra 2020/21. Disponível em: Acesso em: 08 nov. 2021

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

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. 882p.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol. Tecnologia e perspectivas. 2ª edição. Viçosa, 2011. p. 27-49.

DOMINGUES, I. A. S. Variabilidade climática e sua influência na produtividade da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) na região norte e nordeste do Paraná. 2010. Tese (Doutorado em Ciências) – USP, São Paulo, 2010.

Doorenbos J, Kassam AH (Eds.) (2000) **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: FAO, 306p.

DOORENBOS, J; KASSAM, A. H. **Efeitos da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, p. 223-226, 1994.

FAGUNDES, E. A.; SILVA, T. J.; BONFIM-SILVA, E. M. Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo submetidas a níveis de compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 188-193, 2014.

FIGUEIREDO, P.A.M. **Fisiologia da produção de Cana-de-açúcar**. 2016. 100 slides. Disponível em: Acesso em: 23 jan. 2022.

Filgueiras, R., Mantovani, E. C., Althoff, D., Venancio, L. P., Cunha, F.F..2019. Condição de áreas irrigadas baseadas no espaço TSNDVI e TVDI. Anais do XIX **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, Santos-SP.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. **Sugarcane**. In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. Crop- water relations. New York: John Wiley. 1983. 547p. 63p.

GAVA, G. J. C. et al. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. RBEAA, v.15, n.3, p.250-255, 2011.

GOBO, J. P. A. et al. Variabilidade climática em episódios Enos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) nos municípios de Cambé e Mirador/ PR. RBClima, v.13, p.72-87, 2018.

GONÇALVES, I. Z. ; BARBOSA, E. A. A. ; SANTOS, L. N. S. ; NAZÁRIO, A. A. ; FEITOSA, D .R. C. ; TUTA, N. F. ; MATSURA, E.E. . Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip. *Agricultural Water Management.*, v. 185, p. 105-115, 2017.

GONZAGA, G. B. M. Avaliação do crescimento inicial da cana-de-açúcar, variedade RB857515, sob efeito de bactérias endofíticas. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UFAL, Rio Largo, 2012.

HANAUER, J. G. Crescimento, desenvolvimento e produtividade de cana-de-açúcar em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em Santa Maria, RS. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UFSM, Santa Maria, 2011.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamic of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society, Berkshire**, v. 103, p. 77-99, 1977.

HEMEPRABHA, G. et al. Responses of sugarcane genotypes to water deficit stress. *Sugar Tech*, v.6, n.3, p.165-168, 2004.

HOLANDA, L. A.; SANTOS, C. M.; SAMPAIO NETO, G. D.; SOUSA, A. P.; SILVA, M. A. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. *Irriga*, v. 19, n. 4, p. 573-584, 2014. <https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n4p573>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 06 mar. 2020.

JERSZURKI, D. et al. Funções de estimativa do armazenamento de água no solo sob diferentes níveis de capacidade de água disponível. *RBCA*, v.13, n.3, p.1-9, 2018.

KAAB, A.; SHARIFI, M.; MOBLI, H.; NABAVIPELESARAEI, A.; CHAU, K. W. Use of optimization techniques for energy use efficiency and environmental life cycle assessment modification in sugarcane production. *Energy*, v. 181, p. 1298-1320, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.002>.

KELLEHER, C. A.; SHAW, S. B. Is ET often oversimplified in hydrologic models? Using long records to elucidate unaccounted for controls on ET. *Journal of Hydrology*, [s.l.] v. 557, p. 160–172, fev. 2018.

KLEBSON, S. B. Produtividade agrícola de cana-de-açúcar irrigada com gotejamento em quatro ciclos de cultivo. 2014. f 55. (Dissertação de mestrado em engenharia agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, (UFCG). Campina Grande – PB, 2014.

Kousky, V. E. 1980. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 108, 488-498.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107 (9), p.1140-1153, 1979.

LACERDA, A. R. S. et al. Produtividade da cana-de-açúcar em resposta a adubação NPK em diferentes épocas. *FINOM*, v.18, n.1, p.45-51, 2019.

LIMA, J. R. T. A realidade produtiva do setor sucroalcooleiro alagoano no período de 2008 a 2018. **Revista Contexto Geográfico**, [S. l.], v. 6, n. 11, p. 01–18, 2021a.

LIMA, M. C. de. Variabilidade da precipitação no litoral leste da região nordeste do Brasil. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - INPE, São José dos Campos, 1991. 222p.

Lyra, G.B., Pereira, A.R. (2007). Dificuldades de estimativa dos parâmetros de rugosidade aerodinâmica pelo Perfil logarítmico do vento sobre vegetação esparsa em região semi-árida. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 187-197.

MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 56-87.

MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. p. 56-87. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Fundação Cargill, Campinas, v. 1, cap. 1, 1987. 432 p.

MAGALHÃES, I. D.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; ROCHA, A. E. Q.; CAVALCANTE JÚNIOR, C. A.; LYRA, G. B.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; CARVALHO, A. L.; FERRAZ, R. L.; S. Performance of the Aquacrop model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under irrigation condition. *Australian Journal of Crop Science*, 13(7):1188-1196, 2019. 10.21475/ajcs.19.13.07.p1790.

MAGALHÃES, I. D.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; ROCHA, A. E. Q.; CAVALCANTE JÚNIOR, C. A.; LYRA, G. B.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; CARVALHO, A. L.; FERRAZ, R. L.; S. Performance of the Aquacrop model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under irrigation condition. *Australian Journal of Crop Science*, 13(7):1188-1196, 2019. 10.21475/ajcs.19.13.07.p1790.

MAGRO, F.J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P.E.; TAKAMATSU, S.Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. 2011. Trabalho na disciplina LPV-0684 (Produção de Cana-de-Açúcar), USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, jun. 2011.

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. *Vértices, Campos dos Goytacazes*, v.17, n.1, p. 163-181, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/1809-2667.20150011>.

MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: Acesso em 21 nov de 2021.

MATOS, R. M.; SILVA, J. A. S.; MEDEIROS, R. M. Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.422-431, 2014.

Molion, L. C. B., & Bernardo, S. D. O. (2002). Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 17(1), 1-10.

MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of drought in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of Atmospheric Science, Boston**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981.

NOBRE, P. **Variabilidade climática sobre o Atlântico Tropical**. Parte II: estudo de casos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., Belo Horizonte, 1994. Anais..., Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1994. v. 2, p. 10-14.

OLIVEIRA, A. S. de Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - INPE, São José dos Campos, 1986. 115 p.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. PAB, v.46, n.5, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. PAB, v.46, n.5, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA, F. M. et al. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação. Semina, v.35, n.3, p.1587-1606, 2014.

Oliveira-Júnior, J. F., Correia Filho, W. L. F., de Barros Santiago, D., de Gois, G., da Silva Costa, M., da Silva Junior, C. A., ... & Freire, F. M. (2021). Rainfall in Brazilian Northeast via in situ data and CHELSA product: mapping, trends, and socio-environmental implications. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), 1-19.

OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. 463 p. ed. São Paulo: AgronomicaCares Ltda, 1981.

Palaretti, L. F., Mantovani, E. C., & Sedyama, G. C. (2011). Caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do norte do estado de São Paulo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 28(2), 531-551.

PARIDA, S.; GOCHHAYAT, S.; MAHALIK, G. Varietal Susceptibility and Major Diseases of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Seven Villages of Bhubaneswar, Odisha. **International Journal of Natural Sciences**, v. 10, n. 1, p. 8-12, 2020.

Parreira, A. G. B., Marasca, I., Solino, A. J. S., & Santos, G. O. (2019). Water balance climatological to the county of Rio Verde, Goiás. *Científic@ Multidisciplinary Journal*, 6(1), 16-33.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. London: A193. 1948. p. 120-146.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. FEALQ, Praticaba, 1997. 183.

RATISBONA, C. R. **The climate of Brazil**. In: Schwerdtfeger, W., ed. *Climates of Central and South America*. Amsterdam, 1976, p. 219-293. (World Survey of Climatology, 12).

Sales, M. A. L. (2014). Balanço hídrico na sub-bacia hidrográfica do Boi Branco – SP para gestão sustentável da agricultura irrigada (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. BALANÇO HÍDRICO COMO FERRAMENTA AO PLANEJAMENTO AGROPECUÁRIO PARA A REGIÃO DE MARINÓPOLIS, NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.3, p.142-149, 2010.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. BALANÇO HÍDRICO COMO FERRAMENTA AO PLANEJAMENTO AGROPECUÁRIO PARA A REGIÃO DE

MARINÓPOLIS, NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.3, p.142-149, 2010.

SANTOS, J. P. Tendências e impactos da mecanização do corte da cana sobre os canavieiros em Alagoas. 2017. 94 f. Dissertação (Mestre em Sociologia) - Instituto de Ciências Sociais, Programa de Pós-Graduação em Sociologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

SANTOS, T. V. Aspectos da distribuição temporal da precipitação e suas relações com as brisas na cidade de Maceió AL. Universidade Federal de Alagoas, TCC (trabalho de Conclusão de Curso), p. 51, 2006.

SATHISH, D.; VASUDEVAN, V.; THEBORAL, J.; ELAYARAJA, D.; APPUNU, C.; SIVA, R.; MANICKAVASAGAM, M. Efficient direct plant regeneration from immature leaf roll explants of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) using polyamines and assessment of genetic fidelity by SCoT markers. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, v. 54, n. 4, p. 399-412, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11627-018-9910-5>.

SENAY, G. B. et al. Estimating basin scale evapotranspiration (ET) by water balance and remote sensing methods. *Hydrological Processes*, [s.l.] v. 25, n. 26, p. 4037–4049, 30 dez. 2011.

SENTELHAS, P.C. Conceitos de produtividade agrícola e yield gap. Webinar IPNI Brasil, 2018. Disponível em: Acesso em: 12 mar. 2022.

SILVA, A. R. **Estudo observacional do regime do vento no estado de alagoas, nos períodos seca e de transição seco-chuvoso**. Alagoas, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia). UFAL. 64p.

SILVA, A.B. Resposta da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes níveis de Adubação. Campina Grande: UFCG, 2002. 64p. Dissertação de Mestrado.

SILVA, M. A. DE; ARANTES, M. T.; HEIN, A. F. L.; PINCELLI R. P.; SANTOS, C. M.; MOURA, P. C. Características morfofisiológicas e produtividade de cana-de-açúcar variam de acordo com a cultivar e o regime hídrico. **Revista Irriga, Botucatu**, ed. Especial, p. 160-177, 2015.

SILVA, M. D. A; ARANTES, M. T; RHEIN, A. F. D. L. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V. 18, n. 3, p. 241-249, 2014.

SILVA, M.A. et al. Use of Physiological Parameters in Screening Drought Tolerance in Sugarcane Genotypes. *Sugar Tech*, v. 13, n. 3, p. 178-184, 2011. Disponível em: Acesso em: 27 jul. 2018. DOI: 10.1007/s12355-011-0087-z.

SILVA, T. G. F. Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. 2009. 194 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SINDAÇUCAR, SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS – SINDAÇUCAR. Boletim da safra 2011/2012, n.26. 2011. Disponível em: . Acesso em: 10 nov. 2012.

Souza, J. L.; Moura Filho, G.; Lyra, R. F. F.; Teodoro, I.; Santos, E. A.; Silva, J. L.; Silva, P. R. T.; Cardim, A. H.; Amorim, E. C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.12, p.131-141, 2004.

SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R. F. F.; TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; SILVA, P. R. T.; CARDIM, A. H.; AMORIN, E. C. Análise da Precipitação Pluvial e Temperatura do Ar na Região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL. Período 1972 – 2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n.1, p. 131 – 141, 2004.

SOUZA, J. L.; LIMA, F. Z. Clima - estudo de impactos ambiental, levantamento ambiental e relatório, no meio ambiente de área de proteção ambiental de Piaçabuçu - AL. Relatório Técnico/UFAL, 1995, p.180-238.

SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.5, p.449-455, 2015.

TELLES, B. R. Características fisiológicas e moleculares de uma cultivar de cana-de-açúcar tolerante à seca submetida ao déficit hídrico prolongado. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal, 2016.

TEODORO, I.; DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; BRITO, K. S.; SÁ, L. A.; SANTOS, M. A. L.; SARMENTO, P. L. V. S. Isso quantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada. *Irriga, Botucatu*, v.18, n.3, p.387-401, 2013.

Teodoro, I.; Souza, J. L.; Barbosa, G. V.; Moura Filho, G.; Dantas Neto, J.; Abreu, M. L. Crescimento e Produtividade da Cana-de-açúcar em Cultivo de Sequeiro nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. *STAB*, v.27, p.31-34, 2009.

TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; BARBOSA, G. V.; MOURA FILHO, G.; DANTAS NETO, J.; ABREU, M. L. **Crescimento e Produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas**. *STAB*, Março/Abril, v. 27, n. 4, 2009.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.VIII, n.1).

VIANNA, M. S.; SENTELHAS, P. C. Simulação do risco de déficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n.4, p. 237-246, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000400001>.

VIANNA, M. S.; SENTELHAS, P. C. Simulação do risco de déficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. *PAB*, v.49, n.4, p.237-246, 2014.

WANG, X; YANG, W; WHEATON, A; COOLEY, N; MORAN, B. Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: a first step towards automated plant water stress monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.73, n.1, p.74-83, 2010.

WIESBERG, I. L.; MEDEIROS, J. L.; MELLO, R. V. P.; MAIA, J. G. S.; BASTOS, J. B. V.; QUEIROZ, F. A. O. Bioenergy production from sugarcane bagasse with carbon capture and storage: Surrogate models for techno-economic decisions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 150, p. e111486, 2021.