



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

TATIANE BARRETO DE CARVALHO

EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA NO CULTIVO DE
CANA-DE-AÇÚCAR, 1ª FOLHA, EM DIFERENTES
ÉPOCAS DE PLANTIO

SÃO CRISTOVÃO – SE

2016

TATIANE BARRETO DE CARVALHO

EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA NO CULTIVO DE CANA-DE-
AÇÚCAR, 1ª FOLHA, EM DIFERENTES ÉPOCAS DE PLANTIO

Dissertação apresentada ao núcleo
de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos como um dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre
em Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr Ronaldo Souza Resende

SÃO CRISTOVÃO – SE

2016

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

C331e Carvalho, Tatiane Barreto de
Eficiência de uso da água no cultivo de cana-de-açúcar, 1ª
folha, em diferentes épocas de plantio / Tatiane Barreto de
Carvalho; orientador Ronaldo Souza Resende. – São Cristóvão,
2016.
55 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos)– Universidade
Federal de Sergipe, 2016.

1. Recursos hídricos. 2. Irrigação agrícola. 3. Cana-de-açúcar
- Melhoramento genético. 4. Fenologia. I. Resende, Ronaldo
Souza, orient. II. Título.

CDU 556.18:826.84

TATIANE BARRETO DE CARVALHO

EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA NO CULTIVO DE CANA-DE-
AÇÚCAR, 1ª FOLHA, EM DIFERENTES ÉPOCAS DE PLANTIO

Dissertação apresentada ao núcleo
de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos como um dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre
em Recursos Hídricos

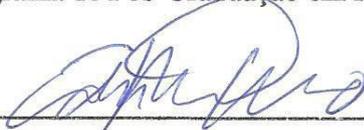
APROVADA: 25 de Fevereiro de 2016



Prof. Dr Ronaldo Souza Resende – Orientador
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos



Prof. Dr Raimundo Rodrigues Gomes Filho
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos



Prof. Dr Edson Patto Pacheco
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA Tabuleiros Costeiros

SÃO CRISTOVÃO-SE

2016

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Aos meus pais, irmãos e avós pelos momentos felizes vividos com muito amor e grandes conquistas nos últimos anos;

A Bia e família, pelo enorme apoio, incentivo e companheirismo de sempre;

A Ronaldo Resende, pela orientação repleta de sabedoria, confiança e prontidão, onde jamais esquecerei;

Aos professores do PRORH, pela amizade, parceria, incentivo e grandes ensinamentos.

Aos amigos, colegas e funcionários do PRORH, por fazerem parte dos momentos felizes vividos nesses dois últimos anos, com muito carinho e atenção, onde ficarão guardados pra sempre comigo;

A Usina Coruripe pelo espaço cedido para a realização desta pesquisa fornecendo apoio técnico e instrumental;

A EMBRAPA Tabuleiros Costeiros pelo apoio na condução da pesquisa;

Aos amigos conquistados durante minha vida, pelo incentivo e amor de sempre;

Aos familiares, pelos momentos de descontração, amor e união;

A CAPES, pelo apoio financeiro;

A UFS, meu segundo lar.

RESUMO

Em termos globais, a irrigação se constitui na atividade humana com maior demanda de água doce. Neste sentido, é preciso estratégias que diminuam ao máximo este consumo. Na irrigação da cana-de-açúcar, uma alternativa é a sincronização da fase fenológica da planta que mais necessita de água, com a estação do ano de maior disponibilidade hídrica da região, reduzindo gastos na irrigação e diminuindo custos na produção. Com isso, o objetivo do presente estudo é estabelecer a época de plantio de cana-de-açúcar, primeira folha, que redunde em maior eficiência de uso da água, quando considerando o plantio de verão da região Nordeste do Brasil. Para isso, foram conduzidos dois experimentos, avaliando duas variedades de cana RB92579 e RB962962. Os experimentos foram conduzidos em área comercial da Usina Cururipe SA utilizando sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial. O delineamento experimental utilizado em cada variedade foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, tendo como tratamento as épocas de plantio: E1-Outubro, E2-Novembro, E3-Dezembro de 2013, E4-Janeiro e E5-Fevereiro. Ao final do ciclo de cultivo foram avaliados os rendimentos físicos e tecnológicos da cultura. A Eficiência de Uso da Água (EUA) para cada tratamento, foi definida através da razão entre o rendimento físico (TCH) ou tecnológico (TAH) da cultura e o volume de água que entrou no sistema, seja através de irrigação, da precipitação total ou da precipitação efetiva. Em ambas as variedades de cana, os tratamentos E1 e E4 obtiveram os maiores valores de TCH e TAH. Na variedade RB92579 tanto o plantio de Outubro quanto o de Janeiro apresentaram maior EUA. Na variedade RB962962 a maior EUA usando como base o TCH foi nos meses de Outubro e Janeiro, já em base de TAH foram os meses de novembro e janeiro. Os meses de plantio que maximizaram a receita líquida do sistema de produção da cana-de-açúcar foram Outubro e Janeiro para a variedade RB92579 e para a variedade RB962962 os plantios de Novembro e Janeiro.

Palavras chaves: Fenologia, Demanda hídrica, Produtividade

ABSTRAT

Globally, irrigation constitutes the human activity with increased freshwater demand. In this sense, it is necessary strategies that reduce the most of this consumption. Irrigation of sugarcane, an alternative is to synchronize the phenological stage of the plant that requires more water, the season of greater water availability in the region, reducing spending on irrigation and reducing costs in production. Thus, the aim of this study is to establish time of sugarcane plantations, second sheet, which results in greater efficiency of water use, when considering the summer planting of Northeastern Brazil. For this, two experiments were conducted, evaluating two varieties RB92579 and RB962962 cane. The experiments were conducted in the commercial area of plant Cururipe SA using subsurface drip irrigation system. The experimental design was a randomized block design with four replicates per variety, with the treatment the planting dates: E1-October, E2-November, E3-December 2013, E4-January and E5-February. At the end of the crop cycle were evaluated physical and technological yields of the crop. Efficiency in water use (USA) for each treatment was defined as the ratio between the physical performance (TCH) or technological (TAH) culture and the volume of water that entered the system, either through irrigation, the total rainfall or effective rainfall. In both varieties of sugarcane, the E1 and E4 treatments had the highest values of TCH and TAH. The variety RB92579 both planting October as the January showed greater US. The variety RB962962 the largest US using as a basis the TCH was in the months of October and January, already in base TAH were the months of November and January. The months of planting that maximized the net of the production system of sugarcane revenues were October and January for the variety RB92579 and the variety RB962962 plantations November and January.

Key words: Phenology, water demand, Productivity

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 –Localização da área experimental, com vista aérea dos talhões de cana-de-açúcar da Usina Coruripe, Estado de Alagoas..... | 17 |
| Figura 2 -Visão geral da área experimental..... | 18 |
| Figura 3 - Período chuvoso da região de Cururipe entre os anos de 1912 a 2004..... | 19 |
| Figura 4 - Balanço hídrico climatológico do município de Cururipe-AL referente ao ano de 2014..... | 19 |
| Figura 5 - Arranjo experimental para as variedades RB92579 e RB 962962..... | 21 |
| Figura 6 - Desenho esquemático da parcela experimental..... | 22 |
| Figura 7 - Comportamento da Precipitação e ETc durante o ciclo dos tratamentos E1-Outubro, E2-Novembro, E3-Dezembro, E4-Janeiro e E5-Fevereiro..... | 29 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 –Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental..... | 20 |
| Tabela 2 –Caracterização química do solo da área experimental..... | 20 |
| Tabela 3 – Fracionamento da fertirrigação do N-fertilizante, em percentual, ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar..... | 22 |
| Tabela 4 - Médias mensais de elementos climáticos correspondentes ao período do ensaio..... | 27 |
| Tabela 5 - Quantidade de Precipitação total (P), precipitação efetiva (Pe), evapotranspiração de referência (ET _o), evapotranspiração da cultura (ET _c), eficiência da precipitação (EFP) excedente hídrico (EXC) e Irrigação (I) acumulados para cada tratamento estudado..... | 32 |
| Tabela 6 - Valores médios de tonelada de cana por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR), tonelada de ATR por hectare (TAH), teor de sacarose do caldo (POL), teor de sacarose da cana (PC), sólidos solúveis (BRIX) e teor de fibra industrial (FIBRA) das variedades de cana 1ª folha RB92579 e RB962962 sob diferentes épocas de plantio..... | 35 |
| Tabela 7 - Valores da eficiência de uso da água (EUA) no ciclo de cana-soca, das variedades RB 92579 e RB 262962, em cinco diferentes épocas de plantio: E1-Outubro; E2-Novembro; E3-Dezembro; E4- Janeiro; E5- Fevereiro..... | 38 |
| Tabela 8 : Desempenho econômico da variedade de cana RB 92579 em função dos tratamentos avaliados..... | 41 |
| Tabela 9 : Desempenho econômico da variedade de cana RB 962962 em função dos tratamentos avaliados..... | 41 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| RESUMO | I |
| ABSTRAT | II |
| LISTA DE FIGURAS | III |
| LISTA DE TABELAS | IV |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2.OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 Objetivo Geral..... | 3 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 3 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO | 4 |
| 3.1 Cana-de-açúcar..... | 4 |
| 3.2 Demanda hídrica da cana-de-açúcar..... | 6 |
| 3.3 Balanço hídrico..... | 8 |
| 3.4 Aproveitamento da água | 11 |
| 4. METATERIAL E MÉTODOS | 17 |
| 4.1 Caracterização da área de estudo | 17 |
| 4.2 Delineamento experimental | 20 |
| 4.3 Preparo do solo, plantio e adubação | 21 |
| 4.4 Sistema de irrigação e manejo hídrico..... | 22 |
| 4.5 Análise de produtividade | 24 |
| 4.6 Eficiência do uso da água | 24 |
| 4.7 Análise econômica | 25 |
| 4.8 Análise estatística | 26 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 5.1 Clima | 27 |
| 5.2 Demanda hídrica da cana-de-açúcar..... | 28 |
| 5.3 Demanda hídrica de irrigação..... | 31 |
| 5.4 Análise de produtividade da cana-de-açúcar..... | 34 |
| 5.5 Eficiência do uso da água..... | 37 |
| 5.6 Análise econômica..... | 40 |
| 6. CONCLUSÃO | 44 |
| 7. REFERÊNCIAS | 45 |

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar chegou ao Brasil no período colonial encontrando terras férteis e clima adequado para se propagar com altas temperaturas e clima tropical. Com isso a cana-de-açúcar tornou-se uma das principais culturas da economia brasileira. Segundo o ministério da agricultura, o Brasil é o país que tem a maior produção de açúcar e etanol, conquistando cada vez mais o mercado externo, tendo em vista que este biocombustível é menos poluente ao ambiente e vem de matéria prima renovável.

O cultivo da cana-de-açúcar teve sua expansão inicial no nordeste brasileiro, principalmente na região dos tabuleiros costeiros. Nesta região, os meses de junho e julho representam 70% do total precipitado durante o ano, porém isso não dificultou o crescimento da safra de 2014 e 2015, tendo esta um rendimento de 6,3% em relação a safra anterior, mostrando com isso uma adaptação da planta ao clima da região (CONAB, 2014).

Devido a má distribuição de chuva na região nordeste, a irrigação tornou-se uma prática indispensável para obter um bom rendimento produtivo da cana. A otimização da produção depende do uso racional dos recursos hídricos, e a irrigação é a prática que consome maior quantidade deste recurso em todo o mundo, gerando com isso conflitos de uso de água e comprometendo sua disponibilidade para futuras gerações. A irrigação também possui elevados custos para o produtor, devido à necessidade de manutenção e operação dos sistemas.

Sendo assim, com o intuito de auxiliar no manejo de irrigação, diminuir os custos e a quantidade de água usada por tal prática, é preciso verificar o período de maior necessidade hídrica da planta e relacionar este ao período de maior índice pluviométrico da região. O balanço de entrada e saída de água na superfície define os períodos de ocorrência do déficit hídrico na cultura. A irrigação e precipitação são os principais componentes de entrada do balanço, e a evapotranspiração da cultura e percolação da água abaixo do sistema radicular da planta, os principais componentes de saída de água do sistema.

A cana-de-açúcar apresenta ao longo do seu ciclo, necessidades hídricas e climáticas peculiares para cada fase do seu desenvolvimento, como por exemplo, bom aporte hídrico com temperaturas elevadas na fase inicial e déficit hídrico com baixas temperaturas na fase final do ciclo. Sendo assim, a época de plantio em que as condições climáticas da região

favoreçam a cultura, proporcionará uma eficiência no uso da água, otimizando o uso da precipitação e diminuindo o uso de irrigação.

Portanto, ao sincronizar a fase fenológica da planta de maior necessidade hídrica com o período de maior disponibilidade pluviométrica, torna-se possível a redução do uso da água de irrigação, sem prejudicar a produtividade da cultura. Esta alternativa, irá tanto economizar a água que é gasta na irrigação, quanto diminuir custos na produção, tendo como propósito obter um resultado com bom rendimento da cultura e de forma sustentável para o meio ambiente, maximizando o uso da chuva e minimizando o uso da irrigação.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Estabelecer a época de plantio de cana-de-açúcar, primeira folha, que apresente maior eficiência de uso da água, quando considerado o plantio irrigado na região Nordeste do Brasil.

2.2 Objetivos específicos

Determinar a época de plantio da cana-de-açúcar que resulta em maior aproveitamento da precipitação.

Determinar a época de plantio que minimiza o uso da irrigação

Determinar a época de plantio que apresenta máxima produtividade agroindustrial

Determinar a época de plantio que maximiza a receita líquida

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma planta do grupo C₄, que apresenta uma boa capacidade fotossintética devido a sua anatomia foliar vertical, diminuindo com isso a taxa de fotorrespiração. A parte aérea da cana é formada por colmos cilíndricos e fibrosos que chegam a 5 metros, somando folhas e florescência, já a parte subterrânea é formada por raízes e rizomas (TAIZ & ZEIGER, 2004; RODRIGUES, 1995).

A cana-de-açúcar é uma das culturas de maior importância socioeconômica para o Brasil e para o mundo, pois produz açúcar e álcool, sendo este último um produto que vem sendo usado com frequência como alternativa para uma energia renovável na indústria automobilística. O bagaço da cana-de-açúcar também é aproveitado para alimentação de bovinos de leite e produção de energia. Na alimentação humana é usada como açúcar, rapadura, melado, caldo e na produção da cachaça (DANTAS NETO et al., 2006; VIANA et al., 2012). No Brasil, a cana teve uma grande importância na formação histórica do país, pois foi um dos elementos principais para a formação da base econômica, política e social, e ainda hoje este setor gera renda para a nação brasileira (CASTILHO, 2000).

Comparada a outras culturas, a cana é a que produz maior quantidade de massa seca e energia por unidade de área em apenas um corte por ano. Para que ocorra uma boa produtividade da safra, muitos países usam alternativas como novas variedades de cana, manejo adequado do solo, aplicação de resíduos industriais, adubos e corretivos de forma adequada, além da expansão da safra (SILVA et al., 2014a).

O ciclo anual da cana-de-açúcar é representado por fases ao longo do seu desenvolvimento. A primeira fase, chamada de estágio inicial, representa o início do crescimento da cultura onde cobre no máximo 10% do solo. Na segunda fase chamada de estágio de desenvolvimento vegetativo, a cobertura do solo atinge 80%. Na terceira fase, chamada de estágio reprodutivo, o solo já está completamente coberto pela cultura que apresenta seu máximo desenvolvimento. Na quarta e última fase, chamado de estágio de maturação, será feito a colheita da cultura (ALBUQUERQUE, 2008).

Quando a cana-de-açúcar se estabelece como cultura, a sombra formada entre elas provocam inibição do perfilhamento (ramificação subterrânea) e aceleração do crescimento do colmo principal, que vai crescendo até a presença de inibidores na maturação. Para o

momento da colheita é preciso inibidores de crescimento, como a deficiência hídrica no solo e baixas temperaturas, provocando a maturação da planta e o armazenamento de sacarose nos colmos, favorecendo com isso a produção de açúcar. As diferentes variedades de cana definem o número de colmos por planta, o diâmetro do colmo, a arquitetura da parte aérea e a largura das folhas. Estas características são influenciadas pelo tipo de clima da região, manejo e práticas usadas na cultura (RODRIGUES, 1995; ALEXANDRIA JUNIOR, 2011).

Segundo Dias et al. (1999) a produtividade da cana depende da interação dos fatores genéticos da planta, do clima e solo local. O sistema de cultivo da cana-de-açúcar tem como principal produto a sacarose retida nos colmos. O teor e a pureza da sacarose na cana-de-açúcar são variáveis que dependem de diversos fatores, como condições de clima, fertilidade do solo, adubação, tratos culturais, variedade de cana e idade do canavial, tendo como objetivo final obter uma boa quantidade de sacarose por área plantada (SILVA et al., 2003).

Ao avaliar o desenvolvimento da cana nas diversas regiões do Brasil, Vianna & Sentelhas, (2014) observaram que: Em locais com temperaturas mais elevadas, o período requerido para a ocorrência dos processos fisiológicos foi mais curto do que nos locais com temperaturas mais amenas. Para que ocorra uma boa produção de sacarose, é preciso clima quente para o crescimento e desenvolvimento da planta, seguido de um período com baixa temperatura para a maturação e colheita, porém, a cana é adaptável a ambientes que chegam a 47 °C no verão, desde que tenha uma irrigação adequada, pois 70% desta planta é formada por água. As variações climáticas presentes no Brasil, possibilitam a colheita em duas épocas diferentes ao longo do ano: uma no norte-nordeste, de setembro a abril; e a outra no centro-sul, de junho a dezembro. No nordeste, a cana-planta apresenta ciclo de 15 meses, enquanto a cana-soca, cerca de 12 meses. Chama-se de cana-planta a primeira brotação da cana plantada; de cana-soca ou 1ª Folha a segunda brotação após o primeiro corte da cana, de ressoca ou 2ª folha a terceira brotação após o segundo corte, e assim por diante (SILVA et al., 2014a; RODRIGUES, 1995; DANTAS NETO et al., 2006).

A produção total de cana-de-açúcar moída na safra 2014 e 2015 foi estimada em 671,69 milhões de toneladas, com aumento de 2,0% em relação à safra 2013 e 2014. A Região Norte/Nordeste prevê um aumento de 3,7%, passando de 56,71 milhões de toneladas da safra 2013/14, para 58,78 milhões na safra 2014 e 2015. No nordeste houve um crescimento no rendimento da cultura chegando a 6,3% em relação á safra de 2013 e 2014, sendo esta uma recuperação na produtividade apesar das secas ocorridas nesta região. Só o estado de Alagoas

possui 4,7% da área produtiva do país, estando entre os sete estados responsáveis pela produção nacional (CONAB, 2014).

3.2 Demanda hídrica da cana-de-açúcar

A zona canavieira na região nordeste encontra-se em clima tropical com deficiência hídrica bem definida nos meses de outubro, novembro e dezembro, enquanto os meses de maio, junho e julho apresenta 50% do total precipitado, tendo portanto chuva em excesso porém mal distribuída durante o ano e com variação de um ano para o outro (RODRIGUES, 1995). Segundo Silva et al. (2013) em seu trabalho sobre risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil, observam que as alterações climáticas provocadas pelo aumento na temperatura do ar e redução na precipitação pluvial provocam reduções significativas nas áreas agrícolas, porém foi avaliado um baixo risco climático para a cultura da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil.

O nordeste apresenta temperatura na faixa de 30° á 35° e elevada radiação com clima quente e úmido ideal para a fase inicial da cana. As três primeiras fases da planta, exige elevado atendimento hídrico e térmico a fim de permitir bom desenvolvimento. Após isto, é preciso um período com restrição hídrica, forçando a maturação e promovendo o enriquecimento do colmo com sacarose para posteriormente ser feita a colheita. A cana geralmente vai diminuindo seu requerimento hídrico com o passar da sucessão dos estágios fenológicos (SILVA et al., 2012 a. b.; RODRIGUES, 1995; SILVA et al., 2014a).

A cana consome grande quantidade de água durante seu desenvolvimento, e a disponibilidade deste recurso é considerado o principal fator climático que causa variação na produção final dentre os anos dependendo do tipo de região e de cana. Além destes, outros fatores como o estado fisiológico, o ciclo da cultura, o armazenamento de água no solo e o clima também alteram o resultado da produção final. A presença ou ausência de água no solo é importante para o desenvolvimento da planta, pois ela absorve a água juntamente com os nutrientes presentes no solo (BARBOSA, 2005).

Cana-de-açúcar é uma planta que apresenta elevado consumo de água, no qual necessita de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca. A falta de água reduz drasticamente a capacidade fotossintética, e conseqüentemente a produção final de sacarose, afetando com isso, o processo fisiológico da planta. A resposta da planta em relação ao déficit hídrico é fechar rapidamente seus estômatos, para evitar perda de água por transpiração. Este

mecanismo provoca a diminuição do suprimento de CO₂ proveniente da atmosfera para a realização da fotossíntese, reduzindo a transpiração e afetando tanto a dissipação da energia térmica como o transporte de nutrientes por fluxo de massa (ALBUQUERQUE, 2013; STANHILL, 1986; TAIZ & ZEIGER, 2004).

A água é um fator que interfere também na maturação, uma vez que o estresse hídrico diminui o crescimento e o transporte da sacarose até a folha, forçando o armazenamento deste produto nos colmos. Ao longo dos anos foi observado um aumento nos estudos relacionados a fisiologia da cana-de-açúcar a fim de melhorar a produção. Junto a isso veio o surgimento de produtos como reguladores vegetais que são compostos químicos capazes de retardar ou paralisar o desenvolvimento da planta, acelerando a maturação principalmente em regiões úmidas e com muita precipitação. Com isso, os produtores diminuem a irrigação e a aplicação de nutrientes e fertilizantes na planta, reduzindo o crescimento mais não a produção, sendo uma técnica muito usada no mundo. Portanto, é necessário verificar o clima local e o período de chuva, juntamente com o tipo de variedade adequada para cada região, sendo que os cultivares mais empregados no nordeste são SP701143, SP711406, RB72454, CB453, NA5679, RB962962, RB83102, RB92579 (RODRIGUES, 1995; LEITE et al., 2011; SILVA et al., 2011)

Cada variedade responde de forma diferente ao potencial hídrico presente no solo, para isso, é necessário verificar de forma atenta qual o potencial de água na planta e a relação entre a água e o crescimento vegetal, pois apesar do déficit hídrico promover o amadurecimento da cana na fase de maturação, ela necessita de um suprimento líquido para a síntese, o transporte e armazenamento do açúcar no colmo. Sendo assim, a água é essencial para a síntese de sacarose nas folhas e para sua translocação pelo colmo, proporcionando com isso, um caldo onde terá qualidade adequada para a indústria alimentícia (RODRIGUES, 1995).

Para a cana obter um bom rendimento na produção, é preciso uma quantidade adequada de água aplicada durante a fase fenológica de maior requerimento hídrico, proporcionando um manejo eficiente da irrigação. Outros fatores como clima, solo, variedade da planta, idade do corte e adubação não deixam de ser importantes para a produtividade. Em relação aos solos, temos a diferença no armazenamento de água entre argilosos e arenosos, tendo o primeiro, partículas finas que retém água por mais tempo. Já o solo arenoso contém partículas maiores permitindo a passagem de grande volume de água, que acaba sendo perdido via percolação. O solo quando é rico em matéria orgânica, aumenta a capacidade de retenção da água e torna a área fértil para o crescimento das plantas. Sendo assim, é preciso uma boa análise da relação

solo-água-planta fazendo o balanço hídrico, a fim de ter uma produtividade desejável na cultura (SILVA et al., 2008a; DANTAS NETO et al., 2006; BARBOSA, 2005; PICOLE, 2006).

3.3 Balanço hídrico

Para avaliar a umidade do solo, é preciso fazer o balanço da entrada e saída de água na zona radicular da planta e quantificar o volume de água armazenada no solo. Esta variação de água que entra e sai do solo em uma área agrícola, é usada para o cálculo do chamado balanço hídrico do solo em escala de área (CONCEIÇÃO, 2010). O ciclo de água na lavoura se inicia quando a água penetra no solo por meio da precipitação ou irrigação. Após isso, ela é infiltrada no solo e passa por um armazenamento temporário na zona onde encontra-se as raízes da planta. Entender como a planta usa esta água presente no solo, e qual a resposta deste vegetal aos níveis de água armazenada usando o balanço hídrico, vem se tornando uma estratégia de manejo agrícola bastante usada pelos produtores (CINTRA et al., 2000). A água entra na zona radicular do solo por vários meios, são eles: chuva, ascensão capilar, fluxo subterrâneo horizontal e irrigação. A saída da água ocorre por meio de: transpiração da planta, evaporação da água do solo, percolação abaixo da zona radicular, escoamento superficial e fluxo horizontal subterrâneo (CONCEIÇÃO, 2010).

Visando um bom manejo hídrico da cultura, é preciso observar valores de evapotranspiração, transpiração da planta junto com evaporação do solo, que são determinados e ajustados ao clima e solo local. É preciso verificar também o ciclo da planta, a variedade, o espaçamento, e o sistema de irrigação, como foi encontrado por Silva et al. (2015), onde em seu experimento com cana-de-açúcar na capital Goiânia, observou que dentro das condições de realização do trabalho, a cana-soca mostrou ter maior dependência de irrigação em relação a cana-planta. A evaporação deve ser reduzida na medida do possível, porém, a transpiração é necessária para o crescimento e desenvolvimento da planta (CARMO, 2013)

A evapotranspiração da cultura depende de variáveis ligadas ao clima, ao solo e a planta, sendo um fator difícil de medir. A evapotranspiração da cultura também pode ser estimada usando a evapotranspiração de uma cultura de referência correlacionando-a com outra qualquer. A evapotranspiração de referência corresponde a uma cultura hipotética semelhante a grama ou alfafa com desenvolvimento ativo. Ao dividir a evapotranspiração da cultura pela

a de referência, encontra-se o coeficiente de cultura. Este exprime o efeito das características da cultura sobre a sua necessidade de água, mostrando o momento em que é preciso irrigar, ajudando no manejo da irrigação na cultura (ALLEN et al., 1998; ALBUQUERQUE & DURÃES, 2008).

O balanço hídrico do solo, para ser efetuado, é preciso avaliar a quantidade de água que chega ao solo por precipitação ou irrigação e a saída de água que ocorre por meio de evapotranspiração, deflúvio superficial e drenagem interna. Este balanço tem como base a zona radicular da cultura e faz-se em um período de tempo determinado. Se neste período de tempo a entrada de água for maior do que a saída, o saldo será positivo beneficiando a planta, e quando ocorre o inverso, o saldo de água fica negativo. O saldo positivo proporciona o crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura, tendo como partida um conhecimento prévio sobre as características da planta bem como sua fenologia (CINTRA et al., 2000)

O solo é um reservatório hídrico natural onde a água fica disponível para as culturas através das raízes das plantas. A água que sai da cultura via evapotranspiração, representa a demanda hídrica da atmosfera. A camada de solo usada no balanço hídrico é aquela onde apresenta a maior parte das raízes das plantas, chamada de profundidade efetiva das raízes. O ponto de saturação de água no solo ocorre quando o solo está repleto de água proveniente da chuva ou da irrigação. Esta água pode atingir um limite superior de armazenamento no solo chegando a sua capacidade de campo. Posteriormente pode causar um excesso de água com consequentemente escoamento superficial (CONCEIÇÃO, 2010)

Após o escoamento superficial, a tendência do solo é de perder umidade por evaporação e percolação profunda, o resultado disso serão as raízes terem dificuldades de absorver a água restante, que vai se tornando cada vez mais restrita para as plantas por estar em limite inferior de armazenamento de água no solo, sendo este chamado de ponto de murcha permanente. O intervalo entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo do solo, é onde se encontra a água disponível para a cultura. Sendo assim, a capacidade de campo e o ponto de murcha, são respectivamente o limite máximo e mínimo da água disponível. Com esses limites é possível observar qual a capacidade de água disponível para a planta de acordo com sua zona radicular (CONCEIÇÃO, 2010; ROSSATO, 2001).

O tipo de solo e suas características refletem a capacidade de armazenamento de água ao longo do seu perfil. O tipo de solo característico dos tabuleiros costeiros no nordeste brasileiro é o solo coeso, onde apresenta textura média a arenosa na superfície com textura argilosa em profundidades de 40 a 90 cm (LIMA et al., 2009; GIAROLA & SILVA, 2002).

Para obter o total de água disponível, é preciso multiplicar a profundidade efetiva da raiz com a capacidade de água disponível. Sendo assim é possível ter uma fração da água facilmente disponível para a planta sem que ela sofra déficit hídrico, e se o local for irrigado, tem que ser considerado no cálculo o percentual do solo que é umedecido pelo sistema de irrigação. O escoamento superficial ocorre devido o volume de precipitação ser maior do que o necessário para repor a deficiência hídrica do solo. Essa deficiência hídrica é determinada pelo volume de água que falta para atingir a capacidade disponível à cultura (CONCEIÇÃO, 2010; INMET, 2014).

Um controle adequado do uso de água na cultura proporciona um aumento na produtividade e melhora a qualidade do produto, porém, é preciso entender a fenologia de cada planta, para aplicar água somente quando a demanda for maior, pois o excesso hídrico em fases da planta em que isso não é recomendado pode causar desenvolvimento exagerado e dificuldade na floração e frutificação em outros tipos de cultura. Na cana, o excesso hídrico na maturação prejudica na produção de açúcar, pois matém o desenvolvimento da planta e com isso a sacarose faz a translocação do colmo para as folhas. Ao aplicar pouca quantidade de água em fases que necessitem desse recurso, a planta pode não completar seu ciclo produtivo, diminuindo portanto seu rendimento. Além disso, para que a planta use água de forma eficiente e com bom rendimento da cultura, é preciso ter um conhecimento prévio das condições físicas do solo e suas características, como velocidade de infiltração, textura, topografia e capacidade de armazenamento, uma vez que o estresse hídrico afeta a transpiração da planta (CARVALHO et al., 2004; DANTAS NETO et al., 2006; VERHOEF & EGEEA, 2014; CALVACHE et al., 1997).

Assim como no solo, é preciso ter também uma análise prévia das condições atmosféricas, do estado nutricional e fisiológico da planta, da natureza genética e do seu estágio de desenvolvimento, da eficiência no uso da água e aproveitamento máximo da precipitação local, a fim de diminuir custos com irrigação (OLIVEIRA et al., 2011).

A chuva após cair da atmosfera pode ser interceptada pela vegetação, e uma parte dela pode ser absorvida pelas folhas ou retidas na mesma, sendo posteriormente perdida na forma de evaporação, ou até mesmo escorrer das folhas e cair sobre a superfície do solo. A taxa de água interceptada pela planta é alta em relação a precipitação total recebida, reduzindo a transpiração e esgotamento da umidade do solo. Outra parte da precipitação chega diretamente no solo, sendo que parte dela é infiltrada dependendo da umidade do solo, e outra parte fica retida na superfície onde será evaporada. Se o solo já estiver muito úmido esta água

será perdida por escoamento superficial. Da água infiltrada, parte fica na zona radicular e parte pode ser percolada para além dessa zona. Sendo assim, ao avaliar a eficiência da água da chuva é preciso verificar qual volume foi retido na zona radicular em relação ao total precipitado, evitando com isso as perdas de água por evaporação, escoamento e percolação (FAO, 1978).

3.4 Aproveitamento da água

A agricultura irrigada vem crescendo cada vez mais no Brasil e no mundo, consumindo mais água do que o setor industrial e doméstico. Uma vez que a população tende a crescer, vem com isso, a necessidade de aumento da agricultura irrigada para suprir a demanda populacional. Para uma agricultura irrigada sustentável ao meio ambiente, é preciso que ela tenha uma irrigação eficiente. Com isso, surge a necessidade de um acompanhamento preciso do uso da água nas áreas agrícolas irrigadas, para facilitar a otimização do uso deste recurso que esta cada vez mais limitado, tendo em vista o crescimento populacional (CAMMALLERI et al., 2014, COELHO et al., 2005).

No nordeste a situação se agrava, devido a seca da região, altas temperaturas e a irregularidade das chuvas, fazendo com que o uso da irrigação seja plena e indispensável para a agricultura, podendo gerar conflitos de interesse quanto ao uso da água na região. Para um bom manejo, é preciso que a água seja aplicada no momento certo e na quantidade demandada pela cultura de acordo com a fase fenológica da planta, usando para isso a irrigação suplementar. O sistema de irrigação precisa ter uma boa eficiência no uso, ou seja, evitar o desperdício de água e ser manejado de forma correta, avaliando diariamente os valores de evapotranspiração da cultura, a fim de encontrar a lâmina real necessária para cada dia (SILVA et al., 2014a, SOUZA et al., 2012; RESENDE, 2013; COELHO et al., 2005).

A decisão de irrigar deve levar em consideração características do local, como: distribuição das chuvas, o efeito da irrigação na produção das culturas, a necessidade de água das culturas, e a qualidade e disponibilidade de água da fonte, com uma boa eficiência no sistema de condução e de distribuição da água até chegar ao solo e a cultura sem vazamentos ao longo do percurso (ANDRADE, 2001).

O termo eficiência de uso da água se dá pela quantidade de água que é efetivamente usada para um fim específico, em relação ao total deste recurso disponibilizado para este fim. Ou

seja, para encontrar a eficiência de uso da água é preciso dividir o volume de água útil pelo volume bruto. Com isso, para que ocorra eficiência é preciso evitar perdas e desperdício de água ao longo do processo. No caso da eficiência do uso da água na irrigação, o objetivo é evitar ao máximo as perdas de água desde a fonte até a zona radicular da planta cultivada. Quando esta trajetória é longa, surgem termos como: Eficiência de condução, que é a trajetória da água da fonte até a área irrigada via tubulações e canais; Eficiência de distribuição, onde irá verificar a distribuição da água nas unidades de irrigação; Eficiência de aplicação, que irá analisar o uso da água dentro das unidades ou parcelas irrigadas (BRITO, 2008).

Ao realizar um experimento avaliando a irrigação por gotejamento subsuperficial e sua relação com a qualidade da cana, Dalri et al. (2008) observaram que este sistema não altera a qualidade da cana-de-açúcar da variedade RB 72454, e proporciona um incremento de 58,5% na produtividade da cana. Gava et al. (2010) observaram que a irrigação por gotejamento aumentou em 23% a produção de açúcar e 24% a de colmo, quando comparado ao plantio de sequeiro.

A fim de diminuir os custos com a irrigação e o desperdício de água, vem surgindo métodos que reduzem o volume de água perdida durante o processo e maximiza a eficiência do uso da água. Para que ocorra uma correta gestão da água, é preciso uma economia e uso racional dos recursos hídricos. O gotejamento sub-superficial com o gotejador e filtros corretos para evitar entupimento, apresenta uma boa eficiência de uso da água, em torno de 90%, uma vez que esse sistema por ser gotejamento dentro do solo, evita perdas via evaporação direta e tem menor espaço de molhamento diminuindo a evaporação de água do solo. Este sistema de irrigação também auxilia no aproveitamento dos nutrientes pela planta, devido a proximidade do gotejador com a zona radicular, minimizando também proliferação de ervas daninhas que se encontram na superfície. O sistema de irrigação por aspersão convencional, com eficiência em torno de 75%, possui grandes perdas via evaporação direta no momento da aplicação e após a água cair no solo, devido a grande área de molhamento (PAZ et al., 2002; LOVELLI et al., 2007; COELHO et al., 2005; BRITO, 2008; SOUZA et al., 2012; MANTOVANI et al., 2009; DALRI & CRUZ, 2008; RESENDE et al., 2000).

A eficiência do uso da água pode ser avaliada por indicadores que mostram qual a produção da cultura e se houve desempenho na aplicação de água no sistema, relacionando isso com a máxima demanda hídrica requerida. Um grupo de indicadores da eficiência no uso da água tem relação com a produtividade deste recurso na cultura, com a quantidade de água produzida e o volume aplicado ou consumido pela cultura. Estes, mostram portanto, como se

encontra o uso eficiente da água, considerando a economia do rendimento para a produtividade da água na cultura. O outro grupo de indicadores está relacionado ao suprimento relativo de água, a evapotranspiração relativa, a fração de redução de água e o déficit hídrico da cultura (SILVA et al., 2011).

Para uma boa eficiência do uso da água, é preciso conhecer como a chuva, que é uma das principais fontes de água, chega a cultura, e de que forma ela é aproveitada. Antes da chuva atingir a superfície sofre alguma evaporação na atmosfera. Essa fração evaporada aumenta a umidade do ar, diminui a temperatura e reduz a evapotranspiração de culturas no campo (FAO, 1978). A chuva é a principal fonte de água para a agricultura em muitas regiões do mundo, onde o uso é de forma direta na agricultura, uma vez que a precipitação cai diretamente na cultura. Com o uso adequado da precipitação no cultivo, é possível reduzir os custos com irrigação e evitar excesso de água na plantação, reduzindo riscos com escoamento superficial e percolação (MONTOVANI et al., 2009)

Na agricultura, são trabalhados três conceitos de precipitação, a precipitação total, efetiva e provável. A precipitação total é o total de chuva que cai da atmosfera em um determinado lugar e ela é medida pelo pluviômetro que precisa estar instalado adequadamente de forma que seja representativo para a cultura. A efetiva é aquela aproveitada pela planta de forma eficiente, sem perdas por percolação e escoamento. A precipitação provável, é a quantidade mínima de chuva ocorrida com determinada probabilidade de ocorrência. Na irrigação trabalha-se com uma probabilidade de 75% da chuva ocorrer em três de cada quatro anos. Este tipo de precipitação é muito usada para dimensionar os sistemas de irrigação suplementar, servindo portanto de referência para saber qual a lâmina a ser aplicada pelo sistema de irrigação durante o horizonte do cultivo, sendo necessário portanto, o conhecimento da série histórica das chuvas totais ocorridas na região (MONTOVANI et al., 2009).

A irrigação e a precipitação precisam cada vez mais se unir a fim de diminuir os gastos de água, uma vez que, nas regiões áridas e semiáridas, a disponibilidade de água geralmente é o principal fator que limita o desenvolvimento das culturas, necessitando portanto de inovações para reduzir a água de irrigação, aumentando contudo a eficiência de uso da água (RAHIL & QANADILLO, 2014). No nordeste, os cultivos próximos aos oceanos recebem chuvas, nas quais são usadas juntamente com a irrigação. As chuvas matam o rendimento da cultura e substitui a irrigação, uma vez que o grande desafio da humanidade é encontrar meios alternativos de produzir mais alimentos com menos gasto de água. Quando a quantidade de

água necessária para a irrigação é superestimada, aumenta a dimensão do sistema e com isso aumenta o custo de irrigação devido ao excesso de água utilizada. Apesar do Brasil ainda usar bastante a irrigação, a tendência atual é viabilizar o aproveitamento das precipitações usando chuva efetiva a fim de diminuir os custos com manutenção e operação dos sistemas de irrigação (BRITO et al., 2012; SAMPAIO et al., 2000; MOURA et al., 2007).

Das três precipitações existentes, a precipitação efetiva é aquela que é aproveitada pela cultura de forma eficiente chegando na zona radicular da planta. Na precipitação efetiva, temos a parte da chuva que fica disponível para atender a demanda evapotranspirométrica da cultura. Para que a chuva efetiva ocorra, vai depender de uma serie de fatores e se eles estão favoráveis para tal ocorrência. Estes fatores são: solo, umidade do solo, da cobertura vegetal, fase da cultura, intensidade de precipitação, declividade do solo. Sendo assim, a chuva efetiva é a precipitação total menos a água que é percolada e a que escoar por superfície. Outra forma de determinar esta precipitação é verificando os dados históricos de chuva total na região e a capacidade total de água no solo (MONTOVANI et al., 2009)

Na região centro sul do Brasil, em Minas Gerais, Barbosa (2005) fez espacialização da precipitação efetiva mensal, e observou que em pedidos de outorga para fins de irrigação, as variações espaciais e temporais do balanço hídrico que são determinadas pela precipitação efetiva, precisam ser levados em consideração, devido a aleatoriedade das condições climáticas em diferentes lugares. O sistema de irrigação total geralmente é usado ao invés do aproveitamento da chuva efetiva, devido a falta de informações climáticas e de análises das características e distribuição das chuvas para região, sabendo que apesar de existir dados climáticos, é preciso ainda conhecer bem e analisar as precipitações. A precipitação útil e utilizável é a que chamamos de precipitação efetiva, porém este conceito muda de acordo com a área de interesse, por exemplo, no abastecimento, a água efetiva é a que entra no reservatório, já para geração de energia, é aquela que sai por escoamento superficial (BORGES et al., 2012; SAMPAIO et al., 2000).

Na produção agrícola, a precipitação efetiva é a precipitação total que cai da atmosfera menos as perdas de água por escoamento superficial, percolação profunda e evaporação, levando em conta a variação de umidade do solo. Em solo com baixa umidade, a precipitação será mais efetiva do que um solo que já se encontra úmido. O manejo do solo principalmente no semiárido nordestino, é de fundamental importância para um bom aproveitamento da água da chuva, uma vez que em solos compactos, pode haver perda de água por escoamento, não aproveitando as precipitações. Com isso, a cobertura e o preparo do solo se tornam uma

prática essencial para evitar erosão hídrica, e melhorar a eficiência da água na agricultura (BORGES et al., 2012; SAMPAIO et al., 2000).

A redução da precipitação por longos períodos causa escassez hídrica prejudicando a lavoura, e como alternativa usa-se a irrigação para manter os índices de produção. Para isso, é preciso conhecer as características da região onde a cultura se encontra e verificar a variabilidade espaço temporal da escassez hídrica do local, tendo em vista que as incertezas climáticas é difícil de prever para qualquer região, seja ela de clima temperado ou tropical (TEIXEIRA et al., 2013). O litoral do nordeste brasileiro, apresenta meses com deficiência hídrica devido a má distribuição de chuva, prejudicando a lavoura de cana-de-açúcar e fazendo com que a prática de irrigação seja cada vez mais comum. Porém, esta prática apresenta custos com a manutenção do seu sistema fazendo com que produtores busquem alternativas para manter o rendimento da cultura de forma sustentável e econômica através da otimização do uso dos recursos naturais (SOUZA et al., 2012).

No nordeste brasileiro vem sendo realizadas práticas de captação de água da chuva para aplicar na agricultura, como a prática de irrigação que consiste em armazenar a água da chuva em uma pequena barragem para ser usada quando a planta estiver necessitando, verificando sempre a umidade do solo para evitar escoamento. Há também a captação *in situ* no qual pode ser através da modificação do solo de cultivo a fim de produzir escoamento da água para a camada de solo onde se encontra a zona radicular da planta, ou até mesmo usar a chuva diretamente na planta de acordo com a fase em que ela mais precisa, e para isso é preciso que a curva de necessidade hídrica da planta esteja de acordo com a curva de precipitação local (BRITO et al., 2012).

A maior parte do mundo usa a precipitação como a principal fonte de água para a produção agrícola. As principais características das precipitações são frequência e intensidade, sendo que varia dependendo do lugar, dia, mês e ano, sendo necessário portanto, seu prévio conhecimento para um bom planejamento e uso da chuva na produção agrícola. Sendo assim, se volume de chuva efetiva for muito elevado a ponto de escorrer superficialmente e por longo período, pode ser bastante prejudicial para a cultura, se esta não for adaptada a regiões alagadas (FAO, 1978). Um exemplo de cultura que geralmente usa a época chuvosa do ano ao invés de irrigação é a rizicultura, devido a uma menor evapotranspiração nesses períodos, já que a radiação e temperatura é menor em meses chuvosos, melhorando a eficiência no uso da água da chuva na semeadura e diminuindo com

isso custos com irrigação (SARTORI et al., 2013). A eficiência do uso da água da chuva também é usada para a cultura de sorgo no semi-árido brasileiro (PARAZZO et al., 2013).

O solo apresenta uma maior disponibilidade hídrica quando a entrada de água no sistema é maior do que sua saída, ambos em um mesmo período de tempo. Se a água que entrar no sistema via precipitação for usada pela cultura de forma produtiva, ocorre o que chamamos de eficiência de uso da água da precipitação na cultura e isso dependerá da época de plantio e das fases de desenvolvimento da planta. Assuntos relacionados ao efeito do estresse hídrico nas fases fenológicas da cana ainda não são bem explicados na literatura. Porém, o grau de injúria devido a falta de água, depende de qual estágio de desenvolvimento que isso estar ocorrendo e qual a duração do estresse, pois quando a demanda hídrica está na fase da planta onde a necessidade de água é maior, o prejuízo no rendimento da cultura também será maior (OLIVEIRA et al., 2011).

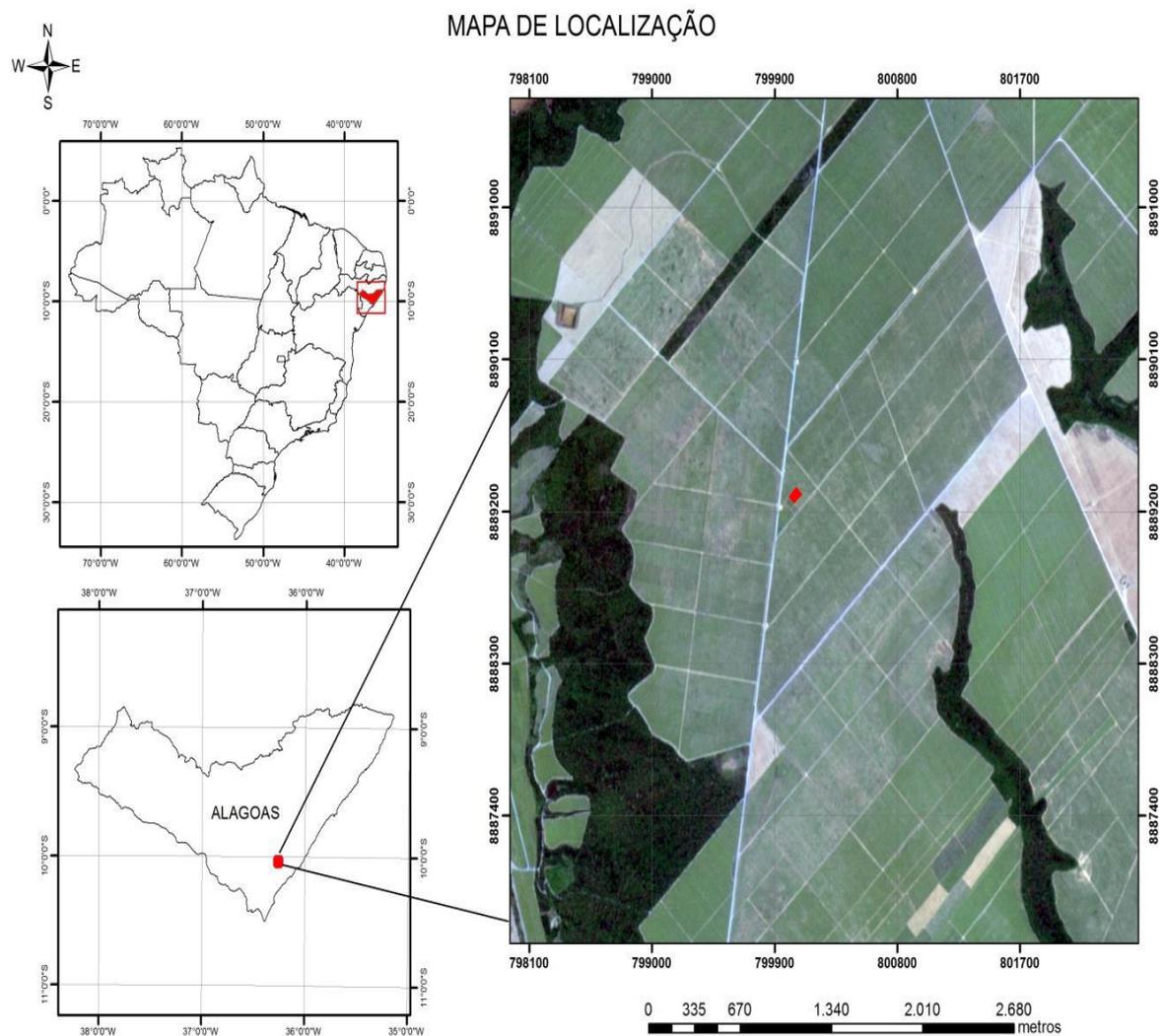
O primeiro passo para o manejo do uso da precipitação, é verificar se a chuva disponível é adequada e bem distribuída para a cultura. Se a chuva for escassa na região, pode ser complementada com irrigação. É preciso também verificar primordialmente, quais são as necessidades hídricas das culturas durante a estação de crescimento, bem como durante os períodos de desenvolvimento, e verificar em qual período a chuva irá satisfazer as necessidades da cultura. Para isso é preciso observar como o excesso de água da chuva pode ser descartado e reduzido pela mudança das práticas de gestão. Sem essas informações básicas necessárias, nenhum projeto de irrigação pode ser planejado e executado de forma produtiva e econômica, pois quanto maior a precisão dos dados a longo prazo sobre os padrões de chuva e os cuidados ao interpretá-los, maior será a eficiência dos projetos de gestão da água (FAO, 1978).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

Os ensaios foram conduzidos em área experimental localizada na Usina Coruripe Açúcar e álcool no município de Coruripe- AL, com coordenadas geográficas $10^{\circ}01'29,15''$ de latitude Sul e $35^{\circ}16'24,86''$ de longitude Leste e altitude de 108 m (Figura 1).

Figura 1—Localização da área experimental, com vista aérea dos talhões de cana-de-açúcar da Usina Coruripe, Estado de Alagoas.



Fonte: Meneses (2015).

O clima da região é do tipo tropical chuvoso com verão seco e maiores precipitações entre os meses de Abril e Setembro segundo classificação de Koppen. A precipitação anual média é de 1179 mm, com valores de temperatura máxima, média e mínima de 29,5; 24,4 e 21,1°C, respectivamente. A umidade relativa média anual é de 82%. Na figura 2 encontra-se uma visão geral da área experimental.

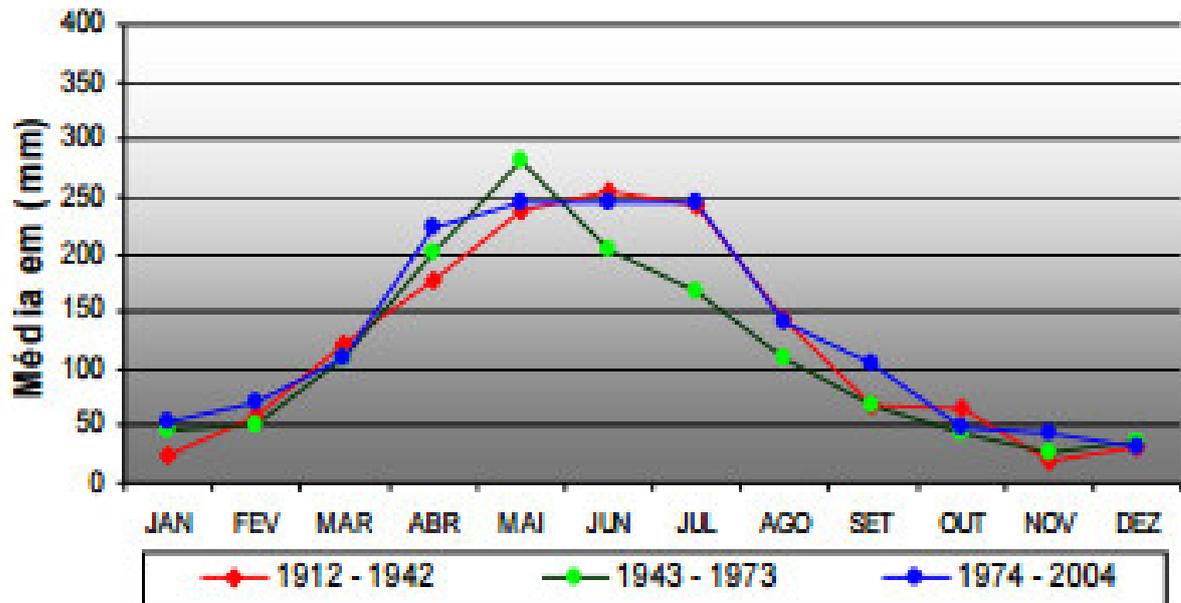
Figura 2- Visão geral da área experimental.



Foto: Ronaldo Resende

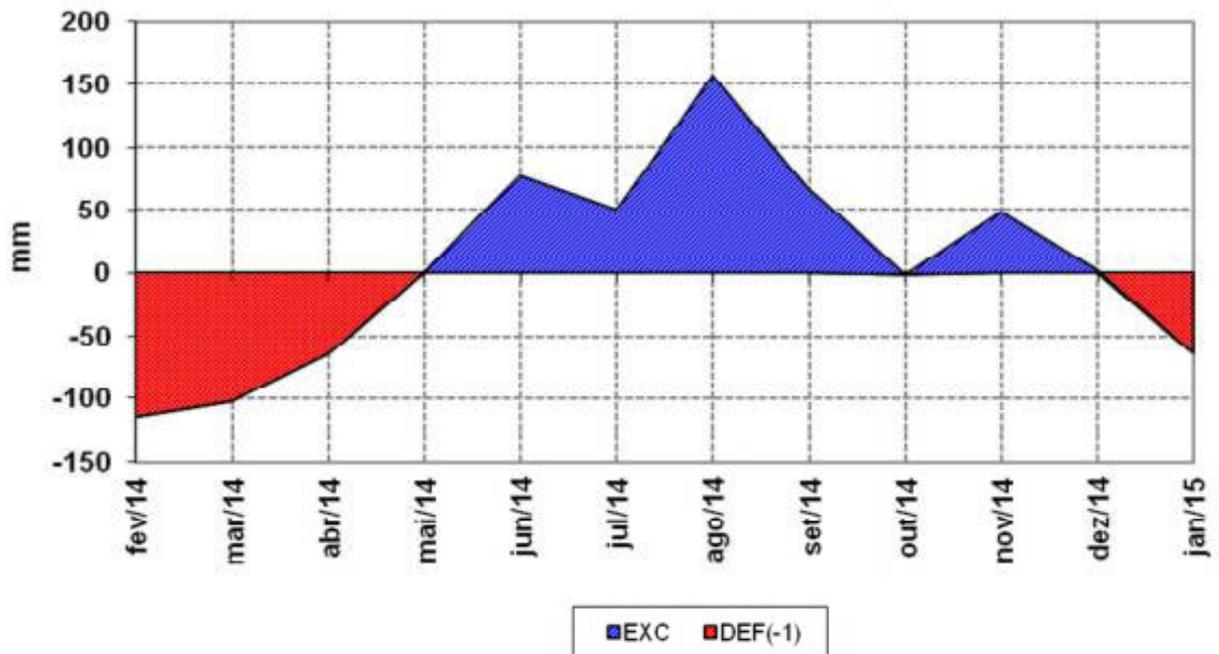
Na figura 3 é possível observar que o período chuvoso da região de Coruripe, entre os anos de 1912 a 2004, concentra-se entre os meses de Abril e Setembro. Segundo o balanço hídrico climatológico estimado pelo método de Thornthwaite e Mather (1957) baseado em dados climatológicos do ano de 2014 no município de Coruripe- AL, é possível observar dois períodos distintos: O período de excedente hídrico (EXC) encontra-se entre os meses de Maio a Novembro, já o período de deficiência hídrica (DEF) é encontrado entre os meses de Dezembro a Abril (Figura 4).

Figura 3- Período chuvoso da região de Coruripe entre os anos de 1912 a 2004.



SEMAR-AL (2015)

Figura 4- Balanço hídrico climatológico do município de Coruripe-AL referente ao ano de 2014.



SEMAR-AL (2015)

O solo da área do experimento é um Argisolo amarelo coeso, com relevo plano, textura média a argilosa, formado do sedimento grupo Barreiras característico da unidade

geomorfológica Tabuleiros Costeiros (JACOMINI et al., 1975). Foram analisadas características físico-hídricas e químicas do solo da área experimental as quais são apresentadas na tabela 1 e 2. As características químicas do solo foram analisadas segundo metodologia descrita no Manual de Métodos da Embrapa (EMBRAPA, 1997).

Tabela 1–Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental

| Prof. (m) | Granulometria (g kg ⁻¹) | | | | | | CC (m ³ m ⁻³) | PMP | Ds (Mgm ⁻³) | Classificação textural |
|--------------|-------------------------------------|-------|--------|---------|-------|--------|---|------|----------------------------|---------------------------|
| | AMG+AG | AM | AF+AMF | A.Total | Silte | Argila | | | | |
| 0,00-0,20 | 214,9 | 447,6 | 213,1 | 875,6 | 66,0 | 58,4 | 0,13 | 0,05 | 1,57 | Arenosa |
| 0,20-0,40 | 189,0 | 339,0 | 260,3 | 788,3 | 106,5 | 105,2 | 0,14 | 0,06 | 1,65 | Areia-franca |

(1)AMG, areia muito grossa (2 a 1mm); AG, areia grossa (1 a 0,5mm); AM, areia média(0,5 a 0,25mm); AF, areia fina (0,25 a 0,1mm); AMF, areia muito fina (0,1 a 0,05 mm); CC, capacidade de campo (10 kPa); PMP, ponto de murcha permanente (1.500 kPa). Área experimental da usina Cururipe açúcar e álcool.

Tabela 2–Caracterização química do solo da área experimental

| Profundidade (m) | pH _{em} H ₂ O | MO (%) | P | K | Ca | Mg | Na | Al | H+Al | S | CTC | V | Al (%) |
|---------------------|--------------------------------------|-----------|------|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|----|-----------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| 0,00-0,20 | 6,1 | 1,65 | 0,16 | 0,12 | 2,7 | 0,5 | 0,06 | 0,0 | 2,4 | 3,38 | 5,78 | 58 | 0,0 |
| 0,20-0,40 | 6,0 | 1,01 | 0,08 | 0,10 | 1,6 | 0,4 | 0,02 | 0,0 | 2,2 | 2,12 | 4,32 | 49 | 0,0 |

(1) MO, matéria orgânica; P, fósforo; K, potássio; Ca, cálcio; Mg, magnésio; Na, sódio; Al, alumínio; H+Al, acidez total; S, soma de bases; CTC, capacidade de troca catiônica; V, saturação por bases, Al, saturação por alumínio. Área experimental da usina Cururipe açúcar e álcool.

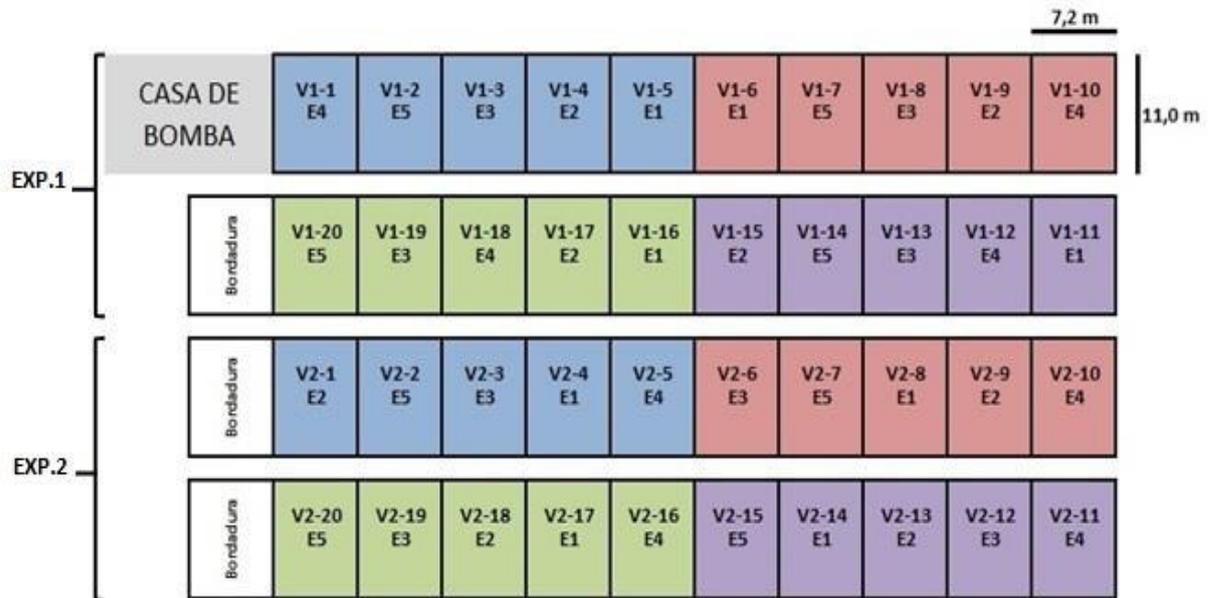
4.2 Delineamento experimental

Foram conduzidos dois experimentos referente á duas variedades de cana RB92579 (V₁) e RB962962 (V₂), onde a primeira tem uma boa expansão no estado de Alagoas e a segunda esta em fase de ampliação na usina. Ambas as variedades apresentam características como: ótimo perfilhamento; alta produtividade; porte semi-ereto á ereto facilitando a colheita; rápida recuperação ao estresse hídrico (seca); e excelente sanidade. Sendo que a V₁, além dessas características, também responde bem à irrigação, além de ser eficiente no uso da água e dos principais nutrientes.

Foi considerado um delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, sendo considerados como tratamentos cinco épocas de plantio, totalizando 20 parcelas experimentais por experimento (Figura 5). As épocas de plantio foram: Outubro-E1, Novembro-E2, Dezembro- E3, Janeiro -E4 e Fevereiro-E5.

As parcelas experimentais foram constituídas de quatro linhas duplas, no espaçamento de 11,0 m de comprimento e 7,2 m de largura, totalizando 79,2 m² por parcela. Os dois experimentos ocuparam uma área total de 3.168 m² totalizando 40 parcelas (Figura 5).

Figura 5- Arranjo experimental para as variedades RB92579 e RB 962962.

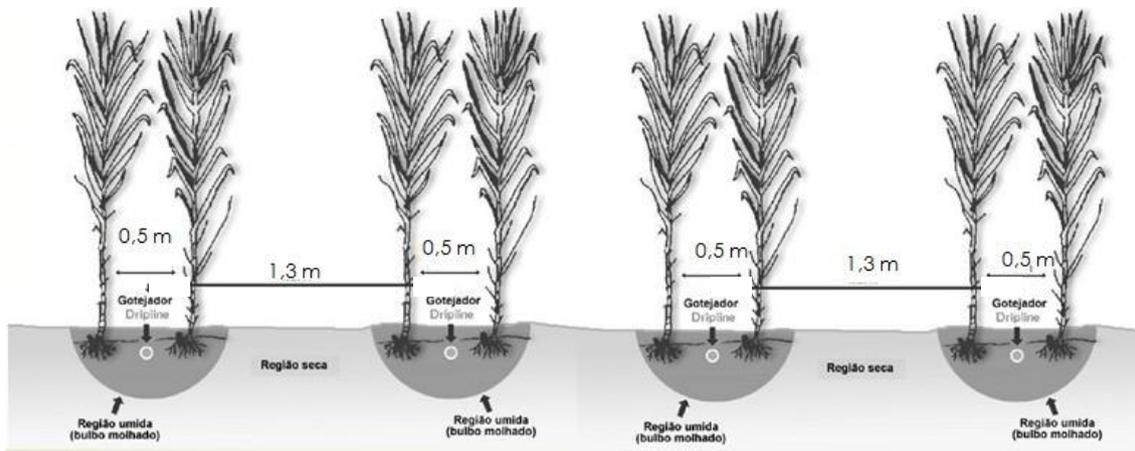


4.3 Preparo do solo, plantio e adubação

O preparo do solo consistiu de subsolagem com profundidade de 0,50 a 0,60 m. Após a subsolagem foi feito aração e gradagem cruzada no solo, incorporando de 500 kg ha⁻¹ de Calmix® (mistura de 70% calcário com 30% gesso). A última etapa do preparo do solo foi a abertura dos sulcos de plantio, com profundidade de 0,30 m. A adubação consistiu de 106 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 62 kg ha⁻¹ de fósforo, 215 kg ha⁻¹, de potássio e 300 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio. Houve também aplicação de micronutrientes (boro, cobre e zinco), via fertirrigação.

Para cada variedade, o plantio foi realizado utilizando colmos previamente tratados, com densidade de 15-18 gemas por metro, inseridas manualmente nos sulcos. O plantio foi conduzido em fileiras duplas, com espaçamento de 0,5 m entre fileiras simples e de 1,3 m entre duplas. O desenho esquemático da parcela experimental pode ser observado na Figura 6.

Figura 6- Desenho esquemático da parcela experimental



Adaptado de Ferreira Júnior et al. (2014)

A fertirrigação foi efetuada semanalmente e dividida em 3 momentos (dias da semana), em função da compatibilidade dos fertilizantes utilizados e do período das chuvas, quando ocorre a suspensão da irrigação. Para a fertirrigação, foi usada a uréia e nitrato de cálcio como fonte de N, o MAP (fosfato monoamônico) como fonte de fósforo e o cloreto de potássio, como fonte de potássio. Na Tabela 3 temos o fracionamento da aplicação de N durante o ciclo da cultura.

Tabela 3 – Fracionamento da fertirrigação do N-fertilizante, em percentual, ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar.

| N(%) | Meses após o plantio | | | | | | | | | |
|------|----------------------|----|----|---|---|---|---|---|---|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 22 | 25 | 15 | 6 | 4 | 4 | 7 | 7 | 5 | 5 |

4.4 Sistema de irrigação e manejo hídrico

As lâminas de irrigação foram aplicadas diariamente por meio de um sistema de gotejamento subsuperficial (GSS), com tubogotejadores espaçados de 1,8 m. Os gotejadores foram espaçados de 0,5 m entre si e enterrados a 0,25 m de profundidade do solo, sendo o gotejador do tipo plano, com vazão nominal de 1,0 L h⁻¹. As lâminas de irrigação foram aplicadas de acordo com a média da evapotranspiração de referência diária estimada na

semana anterior. Para estimar a evapotranspiração de referência foi utilizado o método da equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), a partir de dados obtidos em estação climatológica automática, localizada à 5 Km do local do experimento e denominada CORURIFE-A355 (Código OMM: 86619), pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi estimada a partir da evapotranspiração de referência (ET_o). Para isso, foram usados coeficientes de cultivo (K_c) apropriados para cada fase de desenvolvimento da cultura e épocas de plantio. Os coeficientes de cultivo (K_c) utilizados neste experimento foram os obtidos por Silva et al. (2012).

O balanço hídrico do solo foi realizado diariamente, usando o modelo de Thomtwaiter-Matter (1995) a partir de variáveis físico-hídricas do solo como umidade do solo na capacidade de campo e no ponto de muita (Tabela 1); além de variáveis climáticas como precipitação total e ET_o; profundidade efetiva do sistema radicular e lâmina de irrigação. As variáveis climáticas, foram obtidas a partir da estação climatológica do INMET e o sistema radicular definida após abertura de trincheiras para quantificação das raízes.

A partir do balanço hídrico usando Thomtwaiter-Matter (1995), foi possível estimar a precipitação efetiva (chuva que não foi perdida por percolação profunda) a precipitação excedente (chuva que foi perdida por percolação) e com isso calcular a eficiência da precipitação, conforme a equação 1.

$$EFP = Pe / P \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

EFP = eficiência da precipitação (%)

Pe = precipitação efetiva (mm)

P = precipitação total (mm)

O volume de água de irrigação aplicado para cada Tratamento foi medido com utilização de hidrômetros do tipo Woltman, transformado posteriormente em lâmina de água (mm), em função da área efetivamente irrigada. A irrigação foi interrompida trinta dias antes da colheita, a fim de induzir a maturação.

4.5 Análise de produtividade

Para a análise de produtividade através da pesagem de biomassa, foram retirados os colmos das duas fileiras centrais de cada parcela, correspondente a 39,6 m². Após cada ciclo de cultivo, foi avaliado a produtividade física (toneladas de colmos industrializáveis por hectare -TCH) e os parâmetros de qualidade da cana (teor de sacarose do caldo (POL, em %), teor de fibra industrial (FIBRA, em %), teor de sacarose da cana (PC, em %), teor de sólidos solúveis (°BRIX, em %), açúcar total recuperável- ATR (em kg Mg⁻¹) e tonelada de açúcar por hectare- TAH calculado (equação 2).

$$TAH = \frac{ATR \times TCH}{1000} \quad \text{equação (2)}$$

TAH- tonelada de açúcar por hectare (Mg ha⁻¹)

ATR- açúcar total recuperável (kg Mg⁻¹)

TCH - toneladas de colmos industrializáveis por hectare (Mg ha⁻¹)

4.6 Eficiência de uso da água

A eficiência de uso da água de cada tratamento e com base em TCH ou TAH, avaliando três entradas de água, foram determinadas através das equações a seguir:

$$EUA(i) = \frac{TCH \text{ ou } TAH}{I} = Kg \ m^{-3} \quad \text{equação (3)}$$

$$EUA(p + i) = \frac{TCH \text{ ou } TAH}{p+i} = Kg \ m^{-3} \quad \text{equação (4)}$$

$$EUA (Pe+i) = \frac{TCH \text{ ou } TAH}{pe+i} = Kg \ m^{-3} \quad \text{equação (5)}$$

EUA(i) - Eficiência de uso da água da irrigação (i)

EUA(p+i) – Eficiência de uso da água da precipitação mais irrigação(p + i)

EUA(p+i) – Eficiência de uso da água da precipitação efetiva mais irrigação (pe + i)

TCH - Toneladas de colmos industrializáveis por hectare (Mg ha⁻¹)

TAH- Tonelada de açúcar por hectare (Mg ha^{-1})

I – Irrigação (m^3/ha)

P- Precipitação (m^3/ha)

Pe- Precipitação efetiva (m^3/ha)

4.7 Análise econômica

Uma análise econômica preliminar foi realizada com o propósito de determinar a receita bruta (RB) referente ao mês de cada colheita, o custo total da água de irrigação por gotejamento subsuperficial (C) e a receita líquida (RL). A receita bruta e o custo da irrigação foram calculados conforme as equações 7 e 8.

$$RB = TCH \times ATR \times V_{ATR} \times 1000 \text{ equação (7)}$$

RB- Receita bruta (R\$/ha)

TCH - toneladas de colmos industrializáveis por hectare (Mg ha^{-1})

ATR- açúcar total recuperável (kg Mg^{-1})

V_{ATR} – valor pago por Kg do ATR (R\$/ATR)

$$C_I = C_w \times W \text{ equação (8)}$$

C_I - Custo total da água de irrigação por gotejamento subsuperficial (R\$/ha)

C_w - Custo unitário da água de irrigação estimado em R\$ 8,00 mm^{-1} (R\$/mm)

W- lâmina de irrigação aplicada (mm/ha)

O custo da água de irrigação foi definido com base em informações de custos médios operacionais da irrigação fornecidas pelas usinas Talles Machado (SP) e Coruripe (AL). Para compor a RB foi usado o rendimento físico da cana de açúcar – TCH; o preço de venda do quilograma de ATR - R\$ ATR, o açúcar total recuperável- ATR e a quantidade total de ATR por unidade de área- ATR/ha, que é dado pelo produto do TCH pelo ATR. Sendo

assim, renda bruta corresponde ao produto da produção média de ATR/ha pelo preço do ATR do estado de Alagoas (CONSECANA-AL, 2015) equivalente ao mês de cada colheita.

A receita líquida foi calculada para cada tratamento através da seguinte equação:

$$RL = RB - C \quad \text{equação (9)}$$

RL-Receita líquida (R\$/ ha)

RB- Receita bruta (R\$/ ha)

C_I- Custo total da água de irrigação por gotejamento subsuperficial

4.8 Análise estatística

Os dados de produtividade física e tecnológica, foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O programa estatístico usado para essas análises foi o SISVAR – Sistema para análise de variância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Clima

Os valores diários dos elementos meteorológicos durante a execução do experimento são apresentados na Tabela 4. Observa-se que a temperatura permaneceu na faixa considerada limite para o desenvolvimento da cana que é entre 20 e 38°C, sendo de 25 a 35°C a faixa ótima para o crescimento dos colmos e encontrada em grande parte no experimento (RODRIGUES, 1999).

Tabela 4- Médias mensais de elementos climáticos correspondentes ao período do ensaio.

| | T.mín | T.máx | UR | U | Rs | ETo |
|----------------|--------------|--------------|-----------|----------------------------|---|----------------------------|
| Mês/Ano | °C | °C | % | km dia⁻¹ | MJ m⁻² dia⁻¹ | mm dia⁻¹ |
| Out/13 | 21,9 | 29,3 | 80 | 179 | 20,8 | 4,4 |
| Nov/13 | 22,4 | 29,9 | 79 | 166 | 20,7 | 4,5 |
| Dez/13 | 23,2 | 31,5 | 77 | 191 | 22,5 | 5,1 |
| Jan/14 | 23,1 | 31,3 | 75 | 166 | 23,1 | 5,2 |
| Fev/14 | 23,4 | 31,2 | 75 | 156 | 22,0 | 4,9 |
| Mar/14 | 23,6 | 31,2 | 78 | 150 | 21,7 | 4,8 |
| Abr/14 | 23,7 | 31,2 | 81 | 143 | 18,1 | 4,0 |
| Mai/14 | 22,6 | 29,1 | 84 | 132 | 15,8 | 3,3 |
| Jun/14 | 21,8 | 28,5 | 83 | 150 | 15,9 | 3,2 |
| Jul/14 | 21,2 | 27,5 | 84 | 155 | 15,0 | 3,0 |
| Ago/14 | 20,6 | 27,6 | 81 | 158 | 18,1 | 3,6 |
| Set/14 | 21,2 | 28,4 | 81 | 168 | 20,4 | 4,1 |
| Out/14 | 21,9 | 28,7 | 82 | 174 | 21,0 | 4,3 |
| Nov/14 | 22,5 | 30,7 | 80 | 160 | 21,8 | 4,7 |
| Dez/14 | 25,0 | 33,6 | 78 | 166 | 21,9 | 5,1 |
| Jan/15 | 24,7 | 33,6 | 75 | 162 | 23,6 | 5,5 |
| Fev/15 | 27,3 | 34,9 | 78 | 152 | 20,5 | 5,1 |

Fonte: Estação meteorológica INMET

Entre os meses de Março e Agosto de 2014 observa-se uma elevação da umidade relativa do ar e redução da radiação solar, resultando em uma menor evapotranspiração. Segundo Gascho et al. (1973) na fase de brotação da planta, é ideal que a temperatura esteja em torno de 30° C, para um posterior crescimento do colmo em tamanho e número, favorecendo assim sua produção final.

Segundo Aude (1993) o perfilamento aumenta à medida que a temperatura se eleva chegando em torno de 30° C, e como podemos observar na Tabela 4 a temperatura nos dois

primeiros meses do experimento permaneceu nesta faixa, entre 25 e 30° C. Em um cultivo de cana no Rio de Janeiro, Andre et al. (2010) encontraram valores de radiação e temperatura para a fase de desenvolvimento do colmo iguais aos observados no presente estudo.

No ar com umidade relativa, o gradiente de difusão que move a perda de água é 50 vezes maior do que o gradiente que aciona a absorção de CO₂, deixando a planta em um dilema funcional, onde a abertura de estômatos apesar de absorção de CO₂, proporciona inevitavelmente a perda de água, que é ainda maior quando o ar encontra-se seco (TAIZ & ZEIGER 2004). De Outubro de 2014 á Fevereiro de 2015 houve um aumento na radiação e temperatura do ar, com diminuição da umidade relativa do ar, sendo ideal para a fase de maturação da planta, onde é desejável que haja restrição hídrica com altas temperaturas para o armazenamento de sacarose nos colmos.

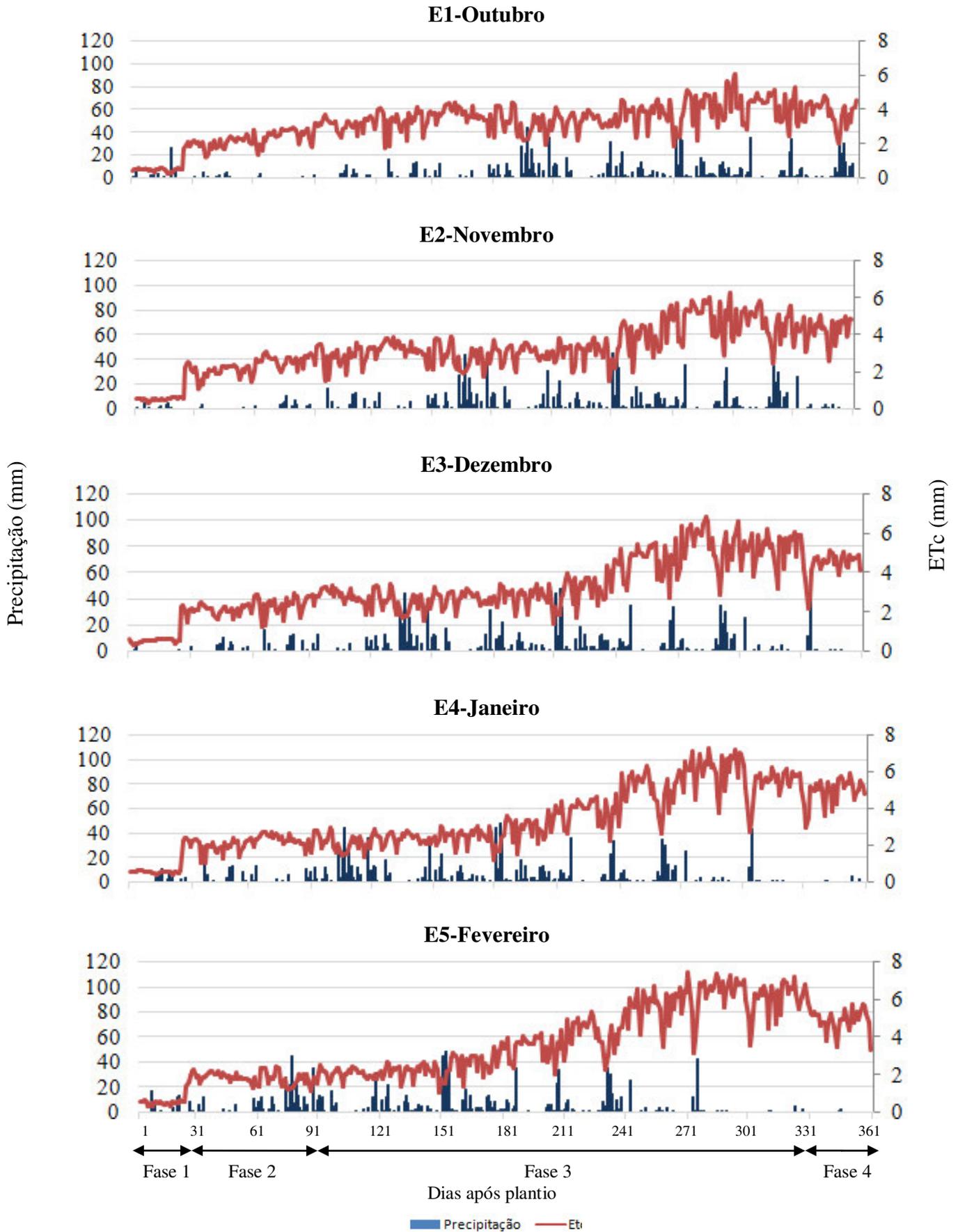
Para uma boa produção de sacarose, a planta precisa de condições ideais de umidade e temperatura do ar (MARCHIORE, 2004). A melhor condição para o desenvolvimento é quando a planta encontra clima quente e úmido com alta radiação, temperatura e umidade do ar na fase inicial, seguido de precipitação elevada para um crescimento adequado dos colmos, e por fim, um período seco com pouca umidade e baixa precipitação para a maturação e colheita. Sendo assim, de forma geral o clima encontrado na região para o período experimental foi favorável para o bom desenvolvimento nas suas diferentes fases de crescimento e diferentes épocas de plantio.

5.2 Demanda hídrica da cana-de-açúcar

A demanda hídrica dos cultivos é função das condições climáticas no ambiente de cultivo (poder evaporante do ar) e varia, também, de acordo com o estágio fenológico da planta. Na figura 7 é apresentada a demanda hídrica da cana durante seu ciclo de cultivo, para cada época de plantio avaliada, em relação à distribuição da precipitação no mesmo período.

De acordo com a figura 7, nos plantios de início de safra (Tratamentos E1 e E2), a maior demanda de água pela atmosfera (maior ETo) coincide com a fase inicial de desenvolvimento da cultura, fase 1 e 2, onde o Kc e a demanda hídrica são baixos, fazendo com que a demanda de irrigação seja reduzida; já na fase 3 do ciclo onde a demanda de água da cultura e o Kc são altos, coincide com o final do período chuvoso, fazendo com que a demanda de irrigação seja pequena.

Figura 7- Comportamento da Precipitação e ETc durante o ciclo dos tratamentos E1-Outubro, E2-Novembro, E3-Dezembro, E4-Janeiro e E5-Fevereiro.



De modo inverso, para o cultivo de final de safra (Tratamento E5), a fase de menor demanda de água pela planta fase 1 e 2, ocorre no período de maior ocorrência de precipitação, enquanto que o período de maior demanda hídrica, fase 3, ocorre justamente no período de menor ocorrência de chuva, necessitando de maior quantidade de irrigação. Para o cultivo de meio de safra (Tratamento E3), tem-se um intermediário entre as duas situações.

A primeira fase fenológica dura um mês para a brotação e início de crescimento, a segunda fase dois meses para o desenvolvimento vegetativo e perfilhamento, a terceira fase com duração de oito meses para o crescimento máximo do colmo e a última fase de um mês para a maturação e colheita.

Na figura 7 podemos observar que a maior parte da precipitação ocorreu na fase três em todos os tratamentos. Esta fase necessita de quantidades elevadas de água para favorecer o crescimento máximo do colmo, sendo portanto, a fase de maior demanda hídrica acumulada.

A evapotranspiração da cultura encontra-se elevada na ausência de precipitação, uma vez que quanto maior a quantidade de chuva maior a umidade do ar e menor será a radiação e temperatura ambiente, reduzindo com isso a evapotranspiração da cultura, e quanto menor a precipitação, menor será a umidade e maior será a radiação, temperatura e evapotranspiração, provocando aumento do consumo de água, sendo necessário irrigação para suprir esta demanda hídrica. De forma geral, segundo Lemos Filho et al. (2010) quanto maior for a disponibilidade de energia, na forma de radiação solar incidente, menor será a umidade relativa do ar e maior a taxa de evapotranspiração de referência.

Nos tratamentos E2, E3, E4 e E5, a evapotranspiração da cultura ultrapassou $6,0 \text{ mm dia}^{-1}$ na última fase fenológica (Figura 7), uma vez que sofre influência da demanda evapotransporimétrica em função do mês seco. Segundo Silva et al. (2014b) a evapotranspiração da cana sofre influência tanto da água aplicada na cultura quanto da demanda atmosférica e fase fenológica da planta. Para que a planta consiga aproveitar bem a água da chuva é preciso que a quantidade de precipitação seja superior ou igual a ET_c da cultura, principalmente na fase de desenvolvimento do colmo onde a planta necessita de muita água.

Os tratamentos que melhor aproveitaram a precipitação na fase de desenvolvimento do colmo, fase 3, foram os tratamentos E2, E3 e E4, uma vez que E1 apresenta grandes quantidades de chuva na última fase e E5 na segunda fase. Foi verificado também, que nos tratamentos E1, E2 e E3 houve picos de precipitação na maturação, o que não é desejável, já

que nesta fase a planta precisa diminuir o desenvolvimento vegetativo para concentrar sacarose nos colmos.

O período de maior precipitação nos tratamentos foi entre os meses de Abril a Setembro, justamente na fase que a planta mais necessita de água. Resultados similares foram obtidos por Silva et al. (2011) com a variedade RB92-579 em Juazeiro-BA. Dantas Neto et al. (2006), em experimento com a variedade SP79-1011 conduzido na Paraíba no ano de 2006, encontraram maiores precipitações de Março á Junho, sendo portanto dentro de uma faixa de meses característicos do nordeste onde apresenta uma maior disponibilidade hídrica por parte das chuvas.

Ao contrário do que ocorre no nordeste, na região sudeste do Brasil as chuvas são frequentes entre os meses de Outubro a Maio, como mostra o experimento de Leite et al. (2001) com a variedade SP80-3280, sendo necessário nesse caso que o início do plantio seja em Fevereiro para que a planta aproveite as precipitações no período de maior demanda hídrica da cultura. Brunozi Júnior et al. (2012) ao avaliar o desempenho produtivo de 17 empresas canavieiras no estado de São Paulo, observaram que as usinas apresentaram-se ineficientes quando houve maior desperdício de insumos agrícolas, mostrando com isso a importância do uso consciente dos recursos naturais, principalmente o uso eficiente da água utilizada no sistema, favorecendo a produção final e o meio ambiente.

5.3 Demanda hídrica de irrigação

O manejo de irrigação foi idêntico para as duas variedades de cana avaliadas. Na Tabela 5 apresenta-se a precipitação total, precipitação efetiva, evapotranspiração da cultura, evapotranspiração de referência e a eficiência da precipitação, para cada tratamento de época de plantio.

Observa-se na Tabela 5, que o volume total de água de precipitação durante o ciclo de cultivo não variou significativamente entre as épocas avaliadas, sendo a diferença percentual entre a maior e a menor lâmina de 3,6%. No entanto, para a precipitação efetivamente utilizada pela cultura (precipitação retida na camada de solo onde se concentra mais de 80% do sistema radicular e em função da capacidade de armazenamento do solo) e estabelecida com base no balanço hídrico realizado, tal diferença assume maior magnitude: enquanto no tratamento correspondente à época de plantio de Outubro a precipitação útil foi de 469,8 mm,

no plantio de Fevereiro essa lâmina correspondeu a 334,8 mm, uma diferença de aproximadamente 40,3%.

Tabela 5- Quantidade de Precipitação total (P), precipitação efetiva (Pe), evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração da cultura (ETc), eficiência da precipitação (EFP) excedente hídrico (EXC) e Irrigação (I) acumulados para cada tratamento estudado.

| TRAT | P(mm) | Pe(mm) | ETo(mm) | ETc(mm) | Exc(mm) | EFP(%) | I (mm) |
|-----------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|
| E1 | 1300,0 | 469,8 | 1517,2 | 1136,1 | 830,2 | 36,2 | 687,7 |
| E2 | 1288,0 | 405,9 | 1523,5 | 1150,7 | 882,1 | 31,6 | 652,7 |
| E3 | 1333,0 | 405,6 | 1518,6 | 1170,2 | 927,4 | 30,5 | 670,4 |
| E4 | 1335,2 | 390,9 | 1535,0 | 1215,4 | 944,3 | 29,3 | 672,3 |
| E5 | 1292,8 | 334,8 | 1542,3 | 1267,1 | 958,0 | 25,9 | 771,0 |

A precipitação efetiva apresentou uma tendência de redução no decorrer das épocas de plantio avaliadas; como a precipitação total se manteve aproximadamente constante ao longo desse mesmo período, resultou que a eficiência da precipitação (que representa a relação entre a precipitação total e aquela efetivamente disponível para a planta na camada de solo considerada) também apresentou tendência de redução, sendo máxima em Outubro (36,2%) e mínima em Fevereiro (25,9%). Em modelagem utilizando dados da Normal Climatológica 1969-1990 (INMET, 2001) Resende et al. (2014) obtiveram valores de eficiência de precipitação variando de 40 a 43% para diferentes meses de plantio da cana na mesma região do presente trabalho.

O tratamento E2 foi o que resultou em menor consumo de água de irrigação, com uma lâmina aplicada no ciclo de 652,7 mm, enquanto que os tratamentos E1 e E5 apresentaram as maiores necessidades de irrigação. Dessa forma, comparando-se as épocas de plantio de menor e de maior demanda de irrigação, observa-se que o Tratamento E2 representa uma economia de água de irrigação de 118,3 mm em relação ao Tratamento E5.

As maiores lâminas de irrigação encontrada nos tratamentos E4 e E5 foi devido a baixa Pe encontrada nos mesmos, onde foi preciso suprir a deficiência hídrica usando a irrigação. Já os tratamentos E2 e E3 devido ao seu bom aproveitamento da precipitação efetiva, necessitou de quantidades baixas de água irrigada.

Ao dividir a precipitação efetiva pela precipitação total, encontra-se a eficiência de precipitação de cada tratamento. A eficiência da precipitação nos tratamentos assim como a precipitação efetiva, apresentou maiores valores para os tratamentos E1, E2 e E3, com respectivamente 36,2, 31,6 e 30,5% da água precipitada usada de forma produtiva, sendo

considerados valores baixos para as plantas.

O baixo aproveitamento da chuva pela planta, pode ter relação com o tipo de solo e sua baixa capacidade de armazenamento de água. Segundo Lima Neto (2009), em seu trabalho sobre caracterização do solo nos tabuleiros costeiros, há uma camada coesa presente nas profundidades do solo desta região. Esta camada impede o aprofundamento radicular, delimitando assim o aproveitamento de água pelas raízes. Junto a isto, as precipitações registradas foram inferiores a média histórica de 1.763 mm encontrada na zona canavieira de Alagoas entre os anos de 1983-2012 (SINDAÇÚCAR- AL, 2015).

Assim como no presente estudo, André et al. (2010) encontrou precipitação abaixo da média anual para a variedade de cana que foi analisada (RB5536) no norte fluminense em 2005. A maior precipitação efetiva encontrada por Vieira et al. (2014) foi de 435,7 mm, ou seja, inferior ao maior valor de Pe avaliado no presente estudo. Isso mostra que a baixa precipitação anual, juntamente com a presença de camada coesa no solo e a concentração de chuva em fases fenológicas isoladas e de menor demanda hídrica, torna limitado o aproveitamento da chuva pela planta.

O tratamento E2 com a época de plantio iniciada em Novembro, apresentou a menor precipitação total dentre os tratamentos, porém a chuva se concentrou na fase fonológica de maior demanda hídrica. Além disso, esse tratamento apresentou a segunda menor ETc (1150,7 mm) acarretando assim na segunda maior eficiência de precipitação (31%). Já no tratamento E5, apesar de apresentar a maior precipitação dentre os tratamentos, também apresentou a maior demanda evapotransporimétrica, acarretando na segunda menor eficiência da precipitação (29,3%).

No tratamento E1, apesar de não apresentar a maior precipitação total, houve um bom aproveitamento da precipitação com a melhor Pe dentre os tratamentos e a menor Etc, devido a isso, apresentou a melhor eficiência da precipitação (36%) sendo então a época de plantio mais adequada para aproveitar a água da chuva.

O tratamento E5 por sua vez, apresentou a menor precipitação total e efetiva, com a menor porcentagem de eficiência de precipitação e a maior ETc, sendo portando a época de plantio menos adequada para melhor aproveitar a precipitação.

No semiárido da Bahia, Silva et al. (2012a), encontraram ao fim do ciclo uma ETc total de 1710 mm, valor bem superior ao encontrado no presente estudo localizado no litoral nordestino, pelo fato do semi-árido apresentar uma menor precipitação anual (523 mm) com baixa umidade e alta temperatura, aumentando com isso a ETo.

O excedente hídrico se mostrou elevado nos tratamentos E3, E4 e E5, devido a um menor aproveitamento da água pela planta nesses últimos tratamentos. Em geral, a precipitação efetiva e sua eficiência foram diminuindo com o passar dos tratamentos, enquanto o excedente hídrico aumentava, tornando com isso a época de plantio iniciada em Outubro a de melhor aproveitamento da água e a de Fevereiro, sendo a última época, a de menor aproveitamento.

A evapotranspiração de referência não variou significativamente entre as épocas avaliadas, sendo a diferença percentual entre a maior e a menor ETo de 1,6%; já para a ETc essa diferença foi de 11,5%. Assim, lâmina de irrigação aplicada para cada Tratamento foi influenciado principalmente pelo respectivo quantitativo da chuva efetiva, pela ETc e pelas fases fenológicas em que ocorreu déficit.

5.4 Análise de produtividade da cana-de-açúcar

Na tabela 6, encontram-se os resultados relacionados ao rendimento físico e tecnológico das duas variedades de cana-de-açúcar avaliadas, em função dos tratamentos testados no presente estudo, bem como a análise de variância e comparação de médias destes resultados.

Observa-se que a variedade RB92579 apresentou melhor rendimento físico em todos os tratamentos quando comparado a variedade RB962962. Na variedade RB92579, o tratamento E1 ($140,63 \text{ Mg ha}^{-1}$) apresentou o maior rendimento sendo seguido pelo tratamento E4 ($126,92 \text{ Mg ha}^{-1}$). Já na variedade RB962962 ocorreu o inverso, a maior produtividade foi encontrada no tratamento E4 ($131,36 \text{ Mg ha}^{-1}$), seguido do tratamento E1 ($125,71 \text{ Mg ha}^{-1}$). Sendo assim, não houve uma diferença estatística significativa em TCH e TAH em ambas as variedades, porém, foi encontrado uma tendência de redução de produtividade de colmo por hectare ao longo das safras, devido a baixa disponibilidade de chuvas na fase 3 encontrada nos últimos tratamentos.

O plantio de Dezembro-E3 apresentou o menor rendimento, inferior a $110,00 \text{ Mg ha}^{-1}$ em ambas as variedades. Em trabalho conduzido em ciclo anterior ao do presente estudo (cana planta), Meneses (2015) observou que, de modo geral, ocorreu uma tendência de decréscimo da produtividade no decorrer da safra para ambas as variedades. Tal tendência não ficou claramente estabelecida no ciclo agora avaliado, devido a uma elevação os dois últimos tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios de tonelada de colmo por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR), tonelada de ATR por hectare (TAH), teor de sacarose do caldo (POL), teor de sacarose da cana (PC), sólidos solúveis (°BRIX) e teor de fibra industrial (FIBRA) das variedades de cana 1ª folha RB92579 e RB962962 sob diferentes épocas de plantio.

| RB92579 | | | | | | | |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Trat. | TCH (Mg ha ⁻¹) | ATR (Kg Mg ⁻¹) | TAH (Mg ha ⁻¹) | POL (%) | PC (%) | °BRIX (%) | FIBRA (%) |
| E1 | 140,63 ^a | 143,79 ^c | 20,24 ^a | 17,65 ^b | 14,76 ^b | 19,49 ^c | 12,75 ^b |
| E2 | 125,82 ^a | 142,36 ^c | 17,89 ^a | 18,32 ^b | 14,56 ^b | 19,93 ^c | 13,25 ^{ab} |
| E3 | 106,62 ^a | 152,06 ^{cb} | 16,25 ^a | 18,90 ^{ab} | 15,67 ^{ab} | 20,71 ^{cb} | 13,38 ^{ab} |
| E4 | 126,92 ^a | 160,75 ^{ab} | 20,42 ^a | 20,30 ^a | 16,61 ^a | 22,07 ^a | 13,95 ^a |
| E5 | 118,56 ^a | 162,71 ^a | 19,26 ^a | 20,29 ^a | 16,82 ^a | 21,90 ^{ab} | 13,20 ^{ab} |
| MÉDIA | 123,71 | 152,33 | 18,81 | 18,95 | 15,68 | 20,82 | 13,31 |
| F | Ns | ** | Ns | ** | ** | ** | * |
| CV% | 13,94 | 2,7 | 14,43 | 3,11 | 3 | 2,39 | 2,76 |
| DMS | 40,11 | 10,29 | 6,43 | 1,53 | 1,17 | 1,25 | 1,00 |

| RB 962962 | | | | | | | |
|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Trat. | TCH (Mg ha ⁻¹) | ATR (Kg Mg ⁻¹) | TAH (Mg ha ⁻¹) | POL (%) | PC (%) | °BRIX (%) | FIBRA (%) |
| E1 | 125,71 ^a | 117,41 ^b | 14,70 ^a | 14,17 ^a | 11,76 ^b | 17,18 ^a | 13,14 ^a |
| E2 | 118,98 ^a | 136,81 ^a | 16,27 ^a | 16,73 ^a | 13,98 ^a | 18,72 ^a | 12,73 ^a |
| E3 | 108,50 ^a | 131,26 ^{ab} | 14,25 ^a | 16,30 ^a | 13,38 ^{ab} | 18,49 ^a | 13,80 ^a |
| E4 | 131,36 ^a | 130,43 ^{ab} | 17,10 ^a | 16,22 ^a | 13,24 ^{ab} | 18,82 ^a | 14,05 ^a |
| E5 | 116,77 ^a | 133,24 ^{ab} | 15,53 ^a | 16,52 ^a | 13,58 ^{ab} | 18,77 ^a | 13,67 ^a |
| MÉDIA | 120,26 | 129,83 | 15,58 | 15,99 | 13,19 | 18,4 | 13,48 |
| F | Ns | * | Ns | ns | * | ns | ns |
| CV% | 10,1 | 6,31 | 10,87 | 7,55 | 7,01 | 5,24 | 4,04 |
| DMS | 26,47 | 18,61 | 4,26 | 2,83 | 2,12 | 2,12 | 1,45 |

Medidas seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade; **significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo pelo teste F (ANAVA) CV: Coeficiente de variação; DMS: Diferença mínimas significativa

Almeida et al. (2008) em sua pesquisa com quatro variedades de cana soca nos tabuleiros costeiros de Alagoas, encontrou na RB92579, a maior produção final de colmo (136,22 t ha⁻¹) para o plantio realizado em outubro e observou que este é um período propício para um bom manejo desta variedade de cana, sendo favorável ao clima e obtendo melhores resultados na produtividade, de forma idêntica ao encontrado no presente trabalho, para a mesma variedade.

O comportamento do açúcar total recuperável ATR foi inverso ao ocorrido no TCH para a variedade RB92579. No ATR, houve aumento no decorrer dos tratamentos, com menor rendimento no E1 (143,79 Kg Mg⁻¹) e maior rendimento no tratamento E5 (162,71 Kg Mg⁻¹).

O fato do rendimento de açúcar total recuperável - ATR nesta variedade ser menor no tratamento E1, pode estar relacionado ao fato de sua fase de maturação ter coincidido com o final do período de chuvas, dificultando o acúmulo de sacarose nos colmos e conseqüentemente, prejudicando o rendimento final de ATR.

Para a variedade de cana RB962962, o maior rendimento de ATR ocorreu no tratamento E2 (136,41 Kg Mg⁻¹) e o menor rendimento no E1 (117,41 Kg Mg⁻¹) ficando os demais tratamentos com valores entre 130 e 133 Kg Mg⁻¹. Esta variedade obteve maior rendimento no período de plantio iniciado em Novembro, porém o valor ainda encontra-se menor do que o mínimo encontrado na variedade RB92579. Román et al. (2015) em seu experimento com cana-de-açúcar realizado no mês de Março em Goiânia, observaram que a reposição hídrica na cultura por meio de irrigação, apresentou maior efeito para ATR, em condições de cana-soca, e para produtividade de colmos em cana-planta.

Em relação ao TAH - tonelada de açúcar total recuperável por hectare, não houve diferença estatística significativa, porém, a variedade RB92579, apresentou maiores valores nos tratamentos E1 e E4 (20,44 e 20,22 Mg ha⁻¹) respectivamente. Já na variedade RB962962, os maiores valores encontrados foram nos tratamentos E2 e E4 (16,27 e 17,1 Mg ha⁻¹), sendo portanto menor que o TAH da variedade RB92579, devido ao fato desta apresentar maior média de ATR dentre as duas variedades de cana, e maior TCH.

Diferente dos altos valores de TCH no tratamento E1 encontrados no presente estudo, Bueno et al. (2012) em seu trabalho sobre a relação entre produtividade e época de plantio da cana, utilizando genótipos característicos do sudeste brasileiro, observou no plantio de Outubro um baixo TCH entre 51 e 124 toneladas por hectares. Segundo os autores, esta baixa produtividade é devido a condições ambientais desfavoráveis encontradas no experimento, onde apresentou baixas temperaturas.

Os valores de Pol, PC e °BRIX apresentaram aumento ao longo dos tratamentos nas duas variedades estudadas. Este fato é decorrente da relação entre a fase de maturação nos três últimos tratamentos e a falta de chuva neste período, uma vez que a deficiência hídrica na fase de maturação diminui o desenvolvimento vegetativo, evitando que o açúcar realize sua translocação até as folhas, mantendo-o concentrado nos colmos e favorecendo a produção final de açúcar. Este valor corrobora com o presente estudo para a variedade RB962962. Porém, foi inferior ao observado na variedade RB92579, devido às condições climáticas que favoreceu o bom resultado encontrado.

Silva et al. (2008b), não encontraram efeito do regime de estresse hídrico durante a fase de crescimento inicial em sólidos solúveis (°BRIX). Porém, Machado et al. (2009) observaram em seu estudo sobre respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar, que a variedade IACSP 96-2042 quando submetida a déficit hídrico, na fase de crescimento inicial, apresenta °BRIX abaixo de 16%.

Oliveira et al. (2011) verificaram valores de °BRIX (21,1%), Pol (18,8%) e Fibra (13,1%) semelhantes aos encontrados nas mesmas variedades do presente estudo (Tabela 8). Moura et al. (2005) em seu estudo na Paraíba com a variedade SP79 1011, em Setembro e Dantas Neto et al. (2006) no mês de Agosto, também encontraram valores de °BRIX (19%) e Pol (17%) semelhantes ao presente estudo, ambos localizados em tabuleiros costeiros, principalmente em relação a variedade RB 92579, onde vem apresentando valores superiores de produtividade e rendimento tecnológico quando comparado com a variedade RB 962962. Resultado semelhante foi observado por Oliveira et al. (2011) quando avaliaram onze variedades de cana e encontraram na RB 92579 os maiores valores de produtividade. Marques & Silva (2008) ao analisar três cultivares de cana plantada no mês de Novembro, observaram valores inferiores ao presente estudo para valores médios de °BRIX, Pol e Fibra, 17,7; 11,6 e 12,5% respectivamente.

5.5 Eficiência de uso da água

A eficiência de uso de água (EUA) com base em tonelada de colmo por hectare (TCH) e tonelada de açúcar por hectare (TAH), foi estimada considerando a irrigação (i), irrigação mais precipitação total (i + p) e irrigação mais precipitação efetiva (i + pe), onde podem ser observados na Tabela 7 para as duas variedades estudadas.

Para a eficiência de uso da água de irrigação com base no rendimento do colmo foi verificado uma variação de 15,38 a 20,45 Kg m⁻³ na variedade RB 92579, sendo o plantio do mês de outubro o que apresentou melhor eficiência e o mês de Fevereiro o de menor EUA_(i).

O plantio de Outubro resultou em máxima EUA de todas as entradas de água para biomassa de colmo, e o tratamento E4 para o açúcar na variedade RB92579. Já para a variedade RB962962 o tratamento E4 foi o que apresentou maior EUA tanto em base de colmo quanto de açúcar. De modo geral, o tratamento E3 foi o que apresentou menor eficiência de uso da água (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores da eficiência de uso da água (EUA), para todas as entradas de água no sistema, seja por irrigação (i), precipitação com irrigação (p + i) ou precipitação efetiva com irrigação (pe + i) no ciclo de cana-soca, das variedades RB 92579 e RB 262962, em cinco diferentes épocas de plantio: E1-Outubro; E2-Novembro; E3-Dezembro; E4- Janeiro; E5- Fevereiro.

| VARIEDADE | EUA (Kg m ⁻³) | TRATAMENTOS | | | | |
|-----------------|---------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 |
| RB92579 | EUA(i) em base de TCH | 20,45 | 19,28 | 15,90 | 18,88 | 15,38 |
| | EUA(pe+i) em base de TCH | 12,15 | 11,89 | 9,91 | 11,94 | 10,72 |
| | EUA(p+i) em base de TCH | 7,08 | 6,48 | 5,32 | 6,32 | 5,74 |
| | EUA(i) em base de TAH | 2,94 | 2,74 | 2,42 | 3,04 | 2,50 |
| | EUA(pe+i) em base de TAH | 1,75 | 1,69 | 1,51 | 1,92 | 1,74 |
| | EUA(p+i) em base de TAH | 1,02 | 0,92 | 0,81 | 1,02 | 0,93 |
| RB962962 | EUA(i) em base de TCH | 18,28 | 18,23 | 16,18 | 19,54 | 15,15 |
| | EUA(pe+i) em base de TCH | 10,86 | 11,24 | 10,03 | 12,36 | 10,56 |
| | EUA(p+i) em base de TCH | 6,32 | 6,13 | 5,42 | 6,24 | 5,66 |
| | EUA(i) em base de TAH | 2,14 | 2,49 | 2,13 | 2,54 | 2,01 |
| | EUA(pe+i) em base de TAH | 1,27 | 1,54 | 1,32 | 1,61 | 1,40 |
| | EUA(p+i) em base de TAH | 0,74 | 0,84 | 0,71 | 0,75 | 0,75 |

A maior eficiência de uso da água de irrigação com base em TCH, foi observada no tratamento E1 (20,45 kg m⁻³) seguidos de E2 (19,28 kg m⁻³) e E4 (18,88 kg m⁻³) para a variedade RB92579. Valores inferiores de EUA_(i) para a mesma variedade com base em colmo foram encontrados por Albuquerque (2012) no litoral norte da Paraíba para o período de maio de 2010 a março de 2011 onde foi encontrado 9,7 kg m⁻³. Este valor inferior ao do presente estudo, foi devido a produtividade da cana (136,05 Mg ha⁻¹) e maior consumo de água de irrigação (1403,71 mm).

Para a variedade RB92579, a melhor EUA_(i) com base em TAH foi observada no tratamento E4 seguido de E1 e E2, sendo portanto, os três tratamentos com melhor EUA_(i) tanto em base de TCH quanto TAH, uma vez que, apresentam a maior produtividade de colmo e açúcar, com os menores gastos de água de irrigação e as maiores eficiências de precipitação.

A melhor EUA_(pe+i) em base de TCH de ambas as variedades foi observada nos tratamentos E1, E2 e E4, já em base de TAH, os melhores valores foram por conta dos tratamentos E1, E4 e E5 para a RB 92579 e E2, E4 e E5 para a RB 962962.

Trabalhando com a variedade SP791011 plantada no mês de Setembro nos tabuleiros costeiros da Paraíba, em manejo da irrigação com base em 100% da ETc, Farias et al. (2008)

encontraram uma eficiência de uso da água (pe+ i) de $7,22 \text{ kg m}^{-3}$ de colmo e $1,06 \text{ kg m}^{-3}$ de açúcar. Os valores encontrados por estes autores mostraram-se inferiores aos encontrados nas variedades observadas no presente estudo, onde a menor $EUA_{(pe+i)}$ em base de TCH foi de $9,91 \text{ kg m}^{-3}$ para o tratamento E3 na RB 92579 e de $1,27 \text{ kg m}^{-3}$ para $EUA_{(pe+i)}$ em base de TAH, para o tratamento E1 da variedade RB 962962.

Costa (2012) em seu experimento com a variedade RB 855453 usando 100% da ETc encontrou em Penápoles-SP valores de $EUA_{(pe+i)}$ em base de colmo de $17,31 \text{ kg m}^{-3}$, semelhantes aos valores encontrados no presente estudo (Tabela 7). Este mesmo autor observou que quanto maior a lâmina de irrigação menor a $EUA_{(pe+i)}$. Isto explica o fato do tratamento E5 apresentar menor $EUA_{(i)}$ de ambas variedades, uma vez que este foi o tratamento que utilizou maior lâmina de irrigação.

Para a $EUA_{(p+i)}$ o tratamento E1 mostrou maior eficiência na variedade RB92579 tanto para TCH ($7,08 \text{ kg m}^{-3}$) quanto para TAH ($1,02 \text{ kg m}^{-3}$), sendo o tratamento E3 com a menor $EUA_{(p+i)}$ $5,32 \text{ kg}$ de colmo por m^{-3} e $0,81 \text{ kg}$ de açúcar por m^{-3} , devido sua menor produtividade de colmo e açúcar por hectare dentre os tratamentos.

Silva et al. (2011) em seu experimento com a variedade RB92579 na região submédica do vale de São Francisco realizada entre Junho de 2007 e Julho de 2008, encontraram uma eficiência de produtividade de $5,36 \text{ kg}$ de colmo e $0,69 \text{ kg}$ de açúcar por m^{-3} de p+i, valores próximos ao encontrado no presente estudo para o tratamento E3 de ambas as variedades.

A variedade RB 92579 foi a que apresentou melhor eficiência de uso da água de forma geral, em comparação com a variedade RB 962962. Porém, Albuquerque (2013) ao comparar a eficiência de uso da água usando 100% da ETc e avaliando a parte aérea da cana-soca, verificou que a variedade RB 962962 foi maior ($2,33 \text{ kg m}^{-3}$) em comparação com a RB 92579 ($1,50 \text{ kg m}^{-3}$), em seu experimento conduzido no período de 2010 a 2012 em Pernambuco.

Oliveira et al. (2011) ao fazer um experimento com 11 variedades de cana em Pernambuco no período de Outubro de 2006 com irrigação plena, verificaram que a variedade RB 92579, mostrou-se mais eficiente na utilização da água absorvida, com uma eficiência de uso da água de $183,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ equivalente a $18,3 \text{ kg m}^{-3}$ corroborando com o presente estudo para o plantio de outubro e novembro da variedade RB 962962 e para o plantio de Janeiro da variedade RB 92579.

Mendonça et al. (2015), ao compararem EUA em três variedades de cana, observaram que a RB92579 foi a que apresentou maior $EUA_{(pe+i)}$ em base de colmo chegando a $10,76 \text{ kg}$

m^{-3} . Este autor também verificou que a eficiência de uso da água reduz progressivamente com o incremento da lâmina de irrigação, onde a cada 100 mm de água adicionada ao solo houve uma redução de 0,58 kg de colmo por m^{-3} de água.

Segundo Souza et al. (2012) essa redução da resposta dos cultivos agrícolas ao aumento da lâmina de irrigação, pode ser explicada pela Lei dos Mínimos de Liebig publicada em 1840, em que quando a umidade do solo não é mais limitante para o crescimento das plantas, outros fatores de produção, como nutrientes, temperatura do ar, luz, etc., começam a limitar a produtividade agrícola.

5.6 Análise econômica

A contabilidade de custos é um método essencial que deve ser usado por todos os agricultores, pois gera informações precisas e oportunas da situação real da produção, e com isso possibilita a diminuição dos custos, evita o desperdício e melhora o planejamento e controle das atividades (HOFER, 2006).

Nas tabelas 8 e 9 podem ser observadas os parâmetros usados na análise econômica de ambas as variedades de cana-de-açúcar, a fim de determinar a época de plantio que apresenta melhor retorno financeiro.

Tanto a receita bruta (RB) quanto a demanda de irrigação (w) encontram-se elevadas nos meses extremos da safra. O custo da água usada na lâmina de irrigação (CI) apresentou o mesmo comportamento, uma vez que o custo unitário da água tem valor fixo de R\$ 8/mm para a irrigação por gotejamento.

Para a variedade RB92579, nota-se na figura 8 e 9, que a tonelada de colmo por hectare (TCH) segue uma tendência de redução ao longo da safra que vai do mês de Outubro a Dezembro, com elevação no mês de Janeiro. De modo contrário, o açúcar total recuperável (ATR) tendeu a aumentar do início ao fim da safra, porém, a produção de açúcar total recuperável por hectare (ATR/há) seguiu a tendência do TCH com redução ao longo das safras com exceção novamente nos meses de Janeiro e Fevereiro.

Tabela 8: Desempenho econômico da variedade de cana RB 92579 em função dos tratamentos avaliados.

| TRAT. | RECEITA BRUTA | | | | RB (R\$/ha) | CUSTO | | R. LÍQUIDA (R\$/ha) |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|--------|---------|----------------|-----------|-------------|------------------------|
| | TCH (Mg ha ⁻¹) | ATR (KgMg ⁻¹) | ATR/ha | R\$/ATR | | W (mm) | CI (R\$) | |
| E1 | 140,63 | 143,79 | 20221 | 0,5612 | 11348,13 | 687,7 | 5501,60 | 5846,53 |
| E2 | 125,82 | 142,36 | 17912 | 0,5524 | 9894,44 | 652,7 | 5221,60 | 4672,84 |
| E3 | 106,62 | 152,06 | 16213 | 0,4943 | 8013,91 | 670,4 | 5363,20 | 2650,71 |
| E4 | 126,92 | 160,75 | 20402 | 0,4941 | 10080,82 | 672,3 | 5378,40 | 4702,42 |
| E5 | 118,56 | 162,71 | 19291 | 0,5383 | 10384,29 | 771,0 | 6168,00 | 4216,29 |

Tabela 9: Desempenho econômico da variedade de cana RB 962962 em função dos tratamentos avaliados.

| TRAT. | RECEITA BRUTA | | | | RB (R\$/ha) | CUSTO | | R. LÍQUIDA (R\$/ha) |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|----------|---------|----------------|-----------|-------------|------------------------|
| | TCH (Mg ha ⁻¹) | ATR (KgMg ⁻¹) | ATR/ha | R\$/ATR | | W (mm) | CI (R\$) | |
| E1 | 125,71 | 117,41 | 14759,61 | 0,5612 | 8283,09 | 687,7 | 5501,60 | 2781,49 |
| E2 | 118,98 | 136,81 | 16277,65 | 0,5524 | 8991,78 | 652,7 | 5221,60 | 3770,18 |
| E3 | 108,50 | 131,26 | 14241,71 | 0,4943 | 7039,68 | 670,4 | 5363,20 | 1676,48 |
| E4 | 131,36 | 130,43 | 17133,28 | 0,4941 | 8465,56 | 672,3 | 5378,40 | 3087,16 |
| E5 | 116,77 | 133,24 | 15558,43 | 0,5383 | 8375,11 | 771,0 | 6168,00 | 2207,11 |

TCH - tonelada de colmo por hectare; ATR - açúcar total recuperável, ATR/ ha - açúcar total recuperável por hectare; R\$/ATR – valor pago ao açúcar total recuperável; RB – receita bruta; W – lâmina de irrigação aplicada; CI – Custo total da água de irrigação; RL - receita líquida.

Assim como no presente estudo, Ferreira Júnior et al. (2012) observaram que a variedade RB 92579, é a que se destaca com maiores rendimentos de colmo e açúcar, onde segundo o autor, isto acontece, devido a sua maior capacidade de rebrota e eficiência em converter energia (radiação fotossintetizante ativa) em fotoassimilados. Marques & Silva (2008) ao analisar três cultivares de cana com plantio realizado no mês de Novembro, encontraram uma média de ATR (100,6 Kg Mg⁻¹) inferior ao encontrado no presente estudo. O preço de 1Kg de ATR após deduções legais sofreu redução ao longo das safras de plantio, com exceção do mês de janeiro. Segundo Moura & Bonizio (2012), ao verificar o preço do Kg de ATR em três

regiões brasileiras no ano de 2008 encontrou para a região nordeste e centro-sul expansão R\$ 0,306/Kg de ATR, inferior aos preços encontrados no presente estudo.

Em relação ao custo de irrigação, a diferença entre o maior e o menor custo foi de R\$ 946,4. Esse custo se mostrou elevado devido ao aumento do custo unitário da água no presente ano de estudo, em comparação ao utilizado por Resende et al. (2013) que conduziram análise semelhante, porém com valores corrigidos para R\$ 3/mm de água.

Do mesmo modo, Meneses (2015) avaliou as mesmas épocas de plantio e utilizou os valores de custo unitário de R\$ 4,33/mm, onde encontrou na diferença entre a maior (636,2 mm - Fevereiro) e menor lâmina (458,2 mm - Outubro) um custo de R\$ 770,74. Ao observar a diferença de custo de ambos os autores podemos verificar que o presente estudo mostrou-se com um valor elevado, devido as maiores lâminas de irrigação usadas bem como o maior custo da água para o presente ano.

Segundo Vieira et al. (2014), para quantificar os benefícios econômicos da irrigação, é preciso saber quantificar o aumento esperado da produtividade em função do aumento da água aplicada. No presente estudo, a maior lâmina de irrigação foi na safra de Fevereiro e a menor em Novembro, a diferença entre ambas foi de 118,3 mm. Em relação ao custo de irrigação, a diferença entre o maior e o menor custo foi de R\$ 946,4 sendo este um valor elevado, devido ao aumento do custo da água no presente ano de estudo.

A menor lâmina de irrigação encontrada esta representada pelo período de safra correspondente ao mês de Novembro, onde apresentou uma baixa produtividade de colmo em ambas as variedades. Embora o TCH esteja baixo no tratamento E2 da variedade RB962962, o ATR encontra-se elevado, favorecendo com isso a renda bruta e líquida desta variedade de cana.

Em seu estudo com as mesmas variedades, épocas de plantio e condições de estudo, porém com a safra anterior representada pela cana-planta, Meneses (2015) apresentou uma média de receita líquida por hectare quatro vezes mais elevada em ambas as variedades quando comparada ao presente estudo. Isto se deu em função de uma maior produtividade de colmo e açúcar, em ambas as variedades, de menor lâmina irrigada (média de 641,2 mm) e principalmente por um menor custo de água (R\$ 3,00 m⁻³), quando comparado ao presente estudo.

De acordo com as tabelas 8 e 9, a variedade RB92579 apresentou melhor rendimento tecnológico resultando em um desempenho econômico superior quando comparado a variedade RB 962962, uma vez que a receita líquida média foi de R\$ 4.417,758 para a

variedade RB92579 e de R\$ 2.704,482 para a variedade RB 962962, ambas por hectare. Em termos econômicos os plantios de Outubro e Janeiro resultaram nas maiores receitas líquidas para a variedade RB92579, enquanto que para a variedade RB962962 os plantios de Novembro e Janeiro foram os que maximizaram essa receita.

6. CONCLUSÃO

1. O mês de Outubro maximizou o uso da precipitação;
2. O mês de Novembro minimizou o uso da água de irrigação;
3. Os meses de Outubro e Janeiro apresentaram maior produtividade de colmo e açúcar na variedade RB92579. Na variedade RB962962 Outubro e Janeiro apresentaram máxima produtividade de TCH e Novembro e Janeiro de TAH .
4. Na variedade RB92579 os meses de Outubro e Janeiro apresentaram maior EUA para todas as entradas de água tanto para TCH como para TAH. Na variedade RB962962 a maior EUA de todas as entradas em base de TCH foram nos meses de Outubro e Janeiro, já em base de TAH foram os meses de Novembro e Janeiro;
5. Os meses de plantio da cana que maximizaram a receita líquida foram Outubro e Janeiro para a variedade RB92579 e Novembro e Janeiro para a variedade RB962962.

7. REFERÊNCIAS

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

ALBUQUERQUE, P.E.P. Estratégias de manejo de irrigação. In: ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

ALBUQUERQUE, W. G. **Consumo hídrico e coeficiente de cultivo dual da cana-de-açúcar cultivada sob diferentes lâminas de irrigação**. 2012. 89 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2012.

ALBUQUERQUE, H. S.**Desempenhoagroenergético, uso de água e de nutrientes por cana-de-açúcar cultivada na Capada do Araripe**. 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Serra Talhada, PE, 2013.

ALEXANDRIA JUNIOR, F. F. **Avaliação de índices agronômicos do sistema consorciado (mamona e cana-de-açúcar) submetido a diferentes lâminas de irrigação e populações**. 2011. 49 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2011.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigationanddrainagepaper, 56).

ALMEIDA, A. C.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V.; FIHLO, G. M. Y FERREIRA, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciênc. agrotec., Lavras**, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008

ANDRADE, C.L.T. **Seleção do sistema de irrigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo,

2001. 18p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 14).

ANDRÉ, R.G.B; MENDONÇA, J.C; MARQUES, V.S; PINHEIRO, F.M.A; MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. parte 1: balanço de radiação e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, p.375 - 382, 2010.

ANTONIO, A.C.D; SAMPAIO, E.V.S.B; OLIO, A.D; SALCEDO,I.H. Balanço hídrico em solo com cultivos desubsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.29-34, 2000.

AUDE, M.I.S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência rural**, v.23, n.2, p. 241-248, 1993.

BARBOSA, E. A. **Avaliação fitotécnica de cinco variedades de cana-de-açúcar para o município de salinas – MG.** 2005. 70 f. Dissertação (Mestrado em agronomia). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da conquista, BA, 2005.

BORGES, C. J. R; SILVA, V.P.R; FARIAS, C. H. A; AZEVEDO, P. V; ALBUQUERQUE, W.G. Evapotranspiração da cana-de-açúcar em Tabuleiro Costeiro Paraibano usando a Razão de Bowen: Estudo Preliminar. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Belém-PA. **Anais.** 2012.

BRITO, L. T. L. CAVALCANTI, N. B.; SILVA, A. S. & PEREIRA, L. A. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.32, n.1, p.102-109. 2012.

BRITO, R. A. L. Avaliação do desempenho de sistemas e projetos de irrigação. In: ALBUQUERQUE, P. E. P; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

BRUNOZI JÚNIOR, A. C; ABRANTES, L. A; GOMES, A. P; GONÇALVES, R. M. L. Eficiência produtiva e análise econômica e financeira de usinas de cana-de-açúcar do estado de São Paulo. **Revista Ambiente Contábil**, v. 4. n. 2, p. 74 – 92, 2012.

BUENO,P.M.C; DAROS, E; OLIVEIRA, R.A; ZAMBON, J.L.C; BESPALHOK FILHO, J.C; WEBER, H. Épocas de corte e a produtividade em genótipos de cana-de-açúcar,em cana-soca. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 33, n.1, p. 2715-2726, 2012.

CALVACHE A.M; REICHARDT.K; MALAVOLTA.E; BACCHI, O.O.S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia agrícola**, v. 54, n. 3, 1997.

CAMMALLERI, C; ANDERSON, M.C; GAO, F; HAIN, C.R; KUSTAS, W.P. Mapping daily evapotranspiration at field scales over rainfedandirrigated agricultural areas using remote sensing data fusion. **Agriculturaland Forest Meteorology**, v.186, n.15, p.1-11, 2014.

CARMO, J. F. A. **Evapotranspiração da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial no submédio do vale do São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de Juazeiro, BA, 2013.

CARVALHO, J. A; SANTANA, M. J; PEREIRA, G. M; DURÃO J. R PEREIRA; QUEIROZ, T. M. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura da berinjela (*solanummelongena*). **Eng. Agríc. Botucatu**, v.24, n.2, p.320-327, 2004.

CASTILHO, C.P.G. **Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (*SaccharumOfficinarumssp.*)**. 2000. 256 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, SP, 2000.

CINTRA, F. L. D. LIBARDI, P. L & SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.23-28, 2000.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v. 1 n. 1 p. 1-20, 2014.

CONSECANA-AL. Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool de Alagoas. **Preço médio do ATR- Safra 2014/2015**. Disponível em: <<http://www.sindicucar-al.com.br/consecana>> Acesso em: 30/12/2015.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Balço hídrico em fruteiras**. Circular técnica. Bento Gonçalves- RS EMBRAPA, setembro de 2010

COSTA, C. T. S. **Crescimento, produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar, sob diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis – SP**. 2012. 102 p. TESE (Doutorado em Agronomia) Faculdade de ciências agrônômicas, Campos Botucatu, 2012.

COELHO, E. F; FILHO, M. A. C; OLIVEIRA, S.L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v.7, n.1, p.57-60, 2005.

DALRI, A. B; CRUZ, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v.28, n3, p.516-524, 2008.

DALRI, A. B; CRUZ, R.L; GARCIA, C.J.B; DUENHAS, L.H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade da cana de açúcar. **Irriga, Botucatu**, v. 13, p. 1-11, 2008.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO J.L. da C.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.10, n.2, p.283–288, 2006

DIAS, L. F; MAZZA, J; MATSUOKA, S; PERECIN, D; & MAULE, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.23, p. 627-634, 1999

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, SNLCS, 1997. 212 p.

FARIAS, C. H. A; FERNANDES, P. D; NETO, J. D; GHEYI. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v.28, n.3, p.494-506, 2008.

FAO.Effective rainfall in irrigated agriculture.FAO (**Food and Agriculture Organization of the United Nations**)consultant irrigation and drainage 1978.

FERREIRA JUNIOR, A. R; SOUZA, J. L; LYRA, G.B; TEODORO, I; SANTOS,M.A; PORFÍRIO, A.C.S; Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.16, n.11, p.1229-1236, 2012.

FERREIRA JUNIOR, A. R; SOUZA, J. L; ESCOBEDO, J. F; TEODORO, I; LYRA, G.B; ARAÚJU NETO, R. A. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.8, p.798–804, 2014.

GASCHO, G.J., RUELKE, O.C., WEST, S.H. Residual effects of germination temperature in sugarcane. **CropSci**, Madison, v. 13, n. 2, p. 274-279, 1973.

GAVA, G. J. C; SILVA, M. A; SILVA, R. C; JERONIMO, E. M; CRUZ, J. C. S; KÖLLN, O. T.Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250–255, 2011.

GIAROLA, N.F.B; SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **ScientiaAgricola**, v.59, n.3, p.613-620,2002.

HOFER, E. Gestão de custos aplicada ao agronegócio: culturas temporárias. **Contabilidade Vista & Revista**. v.17, n.1, p.29-46, 2006.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, **Agrometeorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/agro.html>>. Acesso em: 17/11/2014

JACOMINE, P.K.T; CAVALCANTI, A.C.; PESSOA, S.C.P.; SILVEIRA, C.O. Levantamento exploratório. Reconhecimento de solos do Estado de Alagoas. Recife: **Embrapa, Centro de Pesquisas Pedológicas**, 1975, 531p. (Boletim Técnico, 35)

LEITE, G. H. P; CRUSCIOL, C. A. C; SILVA, M. A. Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar após aplicação de reguladores vegetais em meio de safra. **Ciências Agrárias, Londrina**, v. 32, n. 1, p. 129-138, 2011.

LEMO FILHO, L.C.A; CARVALHO, L.G; EVANGELISTA, A.W.P& ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1294–1303, 2010.

LIMA NETO, J.A; RIBEIRO, M.R; CORRÊA, M.M; SOUZA JUNIOR, V.S; LIMA J.F.W.F; FERREIRA, R.F.A.L. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1001-1011, 2009

LOVELLI S; PERNIOLA, M; FERRARA, A; TOMMASO, T. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. **Agricultural water management**, v.92, p. 73 -80, 2007.

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.

MARCHIORE, L.F.S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. 2004. 273f. Tese (Doutorado em agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2004.

MARQUES, T.A; SILVA, W. H; Crescimento vegetativo e maturação em três cultivares de cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.8, n.1, p.54-60, 2008.

MENDONÇA, M. F.; ALMEIDA, E. S. A. B.; ARAÚJO, W.P.; ALVES, A. S.; PEREIRA, C. C.; NETO, J. J. D. Eficiência no uso da água de variedades de cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação. In: III INOVAGRI International Meeting, **Anais..** Fortaleza, Brasil, 2015.

MENESES, T. N. **Avaliação de épocas de plantio em cultivo irrigado de cana-de-açúcar para maximização da eficiência de uso da água.** 2015. 60 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, SE, 2015.

MINATTO, M. W. **Água de chuva: uso para irrigação em agricultura familiar.** 2013. 85 f. Monografia (Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

MONTOVANI, E.C.; SALASSIER, B, PARALETTI, L. F. **Irrigação princípios e métodos.** 3 ed. Viçosa: ED. UFV, p.228-260, 2009, 355p.

MOREIRA, M.G; BONIZIO, R.C. Análise comparativa dos custos de cana-de-açúcar: produção independente x usina de açúcar e álcool. **Custos e @gronegocioonline**, v. 8, n. 2, p. 84-99, 2012.

MOURA, M. S. B; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. de L; SOUZA, L. S. B. DE SÁ, I. I. S; SILVA, T. G. F. **Clima e água de chuva no Sêmi-árido.** Embrapa Semi-árido – Capítulo em livro técnico científico (ALICE), 2007.

MOURA, M.V.P. da S.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, C.A.V.de; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H.M. de; PORDEUS, R.V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura de cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência Agrotécnica**, v.29, p.753-760, 2005.

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

PAZ, V.P.S; FRIZZONE, J.A; BOTREL, T.A; FOLEGATTI, M. V. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.404-408, 2002.

PERAZZO A. F;SANTOS, E. M;PINHO, R. M. A; CAMPOS, F. S.C; RAMOS, J.P.F.R; AQUINO, M. M; SILVA, T. C, BEZERRA, H.F.C. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semi-árido. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.43, n.10, p.1771-1776,2013

PICOLI, M. C. A. **Estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar utilizando agregados de redes neurais artificiais: estudo de caso usina Catanduva**. 2006. 96 f. Mestrado (Sensoriamento Remoto)- INPE, São José dos Campos, 2006.

RAHILA, M.H & QANADILLO. A. Effects of different irrigation regimes on yield and water use efficiency of cucumber crop. **Agricultural Water Management**, v.148, p.10–15, 2014.

RESENDE, R.S; COELHO, R.D & PIEDADE, S.M.S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.368-375, 2000

RESENDE, R. S. Irrigação de Cana-de-açúcar. **Revista Canavieiros**. Sertãozinho- SP, v.1, P. 22-26,2013. Disponível em: <http://www.revistacanavieiros.com.br/imagens/pdf> Acesso em 14/01/2016

RODRIGUES, J.D **Fisiologia da cana de açúcar**. Butucatu, 1995. 69p.

ROMÁN, R. M. S; SILVA, N. F; CUNHA, F. N; TEIXEIRA, M. B; SOARES, F.A.L; RIBEIRO, P. H. P. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. **Irriga, Botucatu**, edição especial, 20 anos irriga + 50 anos fca, p. 198-210,2015.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2001. 145 f.Dissertação (mestrado meteorologia) – INPE, São José dos Campos, 2001.

SAMPAIO, S.C.; CORREA, M.M.; BOAS, M.A.V.; OLIVEIRA, L.F.C. Precipitação efetiva para o Município de Lavras-MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.210-213, 2000.

SARTORI, G.M.S; MARCHESAN, E; AZEVEDO, C. F; STRECK, N.A; ROSO, R; COELHO, L.L, OLIVEIRA, M. L. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.43, n.3, p.397-403,2013.

SEMAR-AL. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Estado de Alagoas. **Boletins e análises técnicas - Balanço hídrico 2014/2015**. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/tempo-e-clima/boletins-e-analises-tecnicas/balanco-hidrico/2015/janeiro/litoral> Acesso em: 29/12/2015

SILVA, F. C. DA; CESAR, M. A. A.; CHAVES, J. B. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. In: Silva, F. C. da; Cesar, M. A. A.; Silva, C. A. B. da. (ed.). Pequenas indústrias rurais de cana-de-açúcar: melado, rapadura e açúcar mascavo. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, cap. 2, p.21–52, 2003.

SILVA, A, J. N.; CABEDA, V. S. M.; LIMA, F. W. F. J. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, A.J.N; CABEDA, M.S.V; CARVALHO, F.G; LIMA5 J.F.W.F. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.10, n.1, p.76–83, 2006.

SILVA, M.A; JERONIMO, E.ME LÚCIO,A.D.Perfilhamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa agropecuáriabrasileira, Brasília**, v.43, n.8, p.979-986, ago. 2008 a.

SILVA, M.A; SOARES, R.A.B;LANDELL, M.G.A; CAMPANA, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia, Campinas**, v.67, n.3, p.655-661, 2008b.

SILVA, A.P.N; LIMA, .F.J.L; SILVA, A.O; MOURA, G.B.A. Valores efetivos de precipitação pluvial para manejo da irrigação na cana-de-açúcar em Goiana, Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.4, p.585-591, 2010.

SILVA, T. G.F;MOURA, M. S. B; ZOLNIER, S; SOARES, J. M;VIEIRA, V. J.S & JÚNIOR, W.F.G. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.12, p.1257–1265, 2011.

SILVA, T. G.F; MOURA,M. S. B; ZOLNIER, S; SOARES, J. M;VIEIRA, V. J.S & JÚNIOR, W.F.G. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.64–71, 2012 a.

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

SILVA, V.P.R; OLIVEIRA, S.D.O; DOS SANTOS, C.A.C &SILVA, M.T Risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.180–189, 2013

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

SILVA, V.P.R; BORGES, C.J.R; ALBURQUEUE, W.G. Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 625-632, 2014b.

SILVA, N. F.S; CUNHA, F.N; TEIXEIRA, M.B; SOARES, F. A. L; MOURA, L. C. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.9, n.2, p. 79 - 90, 2015.

SOUZA, J.K.C; SILVA, S; NETO, J.D; SILVA, M.B.R; TEODORO, I. Importância da irrigação para a produção de cana-de-açúcar no nordeste do Brasil. **Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior**, v27, n2, p. 133-140, 2012.

STANHILL.G. **Wateruse efficiency**. Advances in agronomy, vol. 39. 1986.

TAIZ,L; ZEIGER,E. **Fisiologia Vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 618p.

TEIXEIRA, C.F.A; DAMÉ, R.C.F; BACELAR, L.C.S; SILVA, G.M; COUTO, R,S. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Ambiente&Água-Journal of Applied Science**, v.8, n. 3, p. 203-213, 2013.

VERHOEFA A, EGEA G. Modeling plant transpiration under limited soil water: Comparison of different plant and soil hydraulic parameterizations and preliminary implications for their use in land surface models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.191, p. 22–32, 2014.

VIANA, A. R; FERREIRA, J.M; FILHO,S.B.R..**Produção de cana-de-açúcar visando a sua utilização na alimentação de bovinos de leite**. Programa Rio Rural. Manual Técnico, 13p, 2012.

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

VIEIRA, G. H.S; MANTOVANI, E.C; SEDIYAMA, G.C; DELAZARI, F. T. Produtividade e rendimento industrial da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Biosci. J**, v. 30, n.1, p. 55-64, 2014.