

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

TESE

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO DA CANA-DE-
AÇÚCAR CULTIVADA NOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA
PARAÍBA**

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

Linha de Pesquisa: Consumo Hídrico de Culturas

Candidato: Luciano Marcelo Fallé Saboya

Orientadores: José Dantas Neto

Pedro Vieira de Azevedo

CAMPINA GRANDE/PB

DEZEMBRO, 2014

LUCIANO MARCELO FALLÉ SABOYA

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO DA CANA-DE-
AÇÚCAR CULTIVADA NOS TABULEIROS COSTEIROS DA PARAÍBA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor (D. Sc.) em Engenharia Agrícola, Área de concentração Irrigação e Drenagem.

ORIENTADORES: Prof. Dr. José Dantas Neto
Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo

**CAMPINA GRANDE/PB
DEZEMBRO, 2014**

S117e

Saboya, Luciano Marcelo Fallé.

Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da cana-de-açúcar cultivada nos tabuleiros costeiros do estado da Paraíba / Luciano Marcelo Fallé Saboya. – Campina Grande, 2014.

73 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo".

Referências.

1. Irrigação Agrícola. 2. Balanço de Energia. 3. Razão de Bowen. 4. Precipitação Pluviométrica. I. Dantas Neto, José. II. Azevedo, Pedro Vieira de. III. Título.

CDU 631.67 (043)



Universidade Federal
de Campina Grande

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA



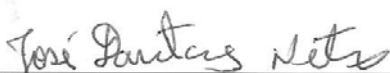
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

LUCIANO MARCELO FALLÉ SABOYA

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO DA CANA-DE-
AÇÚCAR CULTIVADA NOS TABULEIROS COSTEIROS DA PARAÍBA

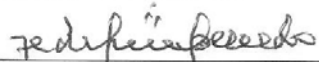
BANCA EXAMINADORA

PARECER




Dr. José Dantas Neto
Orientador - UAEA/UFCG

APROVADO



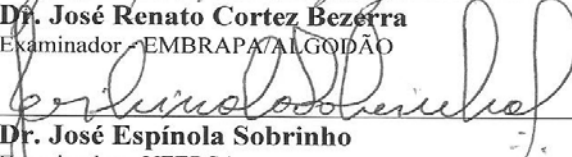
Dr. Pedro Vieira de Azevedo
Orientador - UACA/UFCG

A PROVA DO



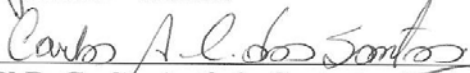
Dr. José Renato Cortez Bezerra
Examinador - EMBRAPA/ALGODÃO

APROVADO



Dr. José Espínola Sobrinho
Examinador - UFERSA

APROVADO



PhD. Carlos Antônio Costa dos Santos
Examinador - UACA/UFCG

APROVADO



PhD. Hugo Orlando Carvalho Guerra
Examinador - UAEA/UFCG

Aprovado

DEZEMBRO, 2014

Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó
58429-140 – Campina Grande-PB
Fone: (83) 21011055. Fax: (83)21011185
<http://www.deag.ufcg.edu.br/copeag>

DEDICATÓRIA

A minha esposa, Rita de Cassia Cunha Saboya e a meus filhos Caio, Luma e Camila.

A meus Pais, Rosa Madalena Fallé Saboya (In Memoriam) e Geraldo Fernandes Saboya (In Memoriam).

AGRADECIMENTOS

A minha família, por me apoiar nesta caminhada.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande – UAEA/CTRN/UFCG.

Aos colegas de curso Arsênio, Patrícia, Aaron, Lenildo, Calado, Wellyson, Fernando, Alberto e demais amigos que contribuíram nessa trajetória.

Aos Professores Dr. José Dantas Neto e Dr. Pedro Vieira de Azevedo, pelos ensinamentos e paciência.

Aos funcionários da usina Miriri, Antônio Emídio e Marcos, pelo apoio na condução do experimento de campo.

Aos servidores do Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Sr^a Aparecida, Sr. Gilson e Sr. Isaías.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação profissional.

SUMÁRIO

	Página
Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Figuras.....	ix
Resumo.....	x
Abstract.....	xi
1 Introdução.....	01
2 Revisão de literatura.....	04
2.1 A cultura da cana-de-açúcar.....	04
2.2 Balanço de radiação e energia sobre culturas.....	07
2.3 Evapotranspiração de referência (ET _o)	09
2.4 Evapotranspiração da cultura (ET _c).....	10
2.5 Coeficiente de cultivo (K _c).....	12
3 Material e Métodos.....	14
3.1 Caracterização da área experimental.....	14
3.2 Clima da região de estudo.....	15
3.3 Solo da área experimental.....	15
3.4 Observações meteorológicas.....	15
3.5 Evapotranspiração de referência.....	19
3.6 Balanço de radiação.....	20
3.7 Evapotranspiração da cultura pelo método da Razão de Bowen.....	21

3.8	Coeficiente de cultivo.....	25
3.9	Perfilhamento e altura de plantas.....	25
3.10	Tratos culturais.....	25
3.11	Irrigação.....	25
4	Resultados e discussão.....	26
4.1	Comportamento dos parâmetros climáticos na área experimental.....	26
4.2	Fases fenológicas da cana-de-açúcar.....	29
4.3	Comportamento dos componentes dos balanços de radiação e energia.....	31
4.4	Evapotranspiração de referência.....	40
4.5	Evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo.....	43
5	Conclusões.....	50
6	Referências bibliográficas.....	51

Lista de Tabelas

Tabela		Página
3.1	Análise textural do solo da área experimental. Fazenda Capim II, Capim, PB.....	15
3.2	Características dos sensores e datalogger utilizados.....	19
3.3	Condições para satisfazer o método da Razão de Bowen sob condições não advectivas, para que o dado possa ser considerado consistente, possibilitando determinação de LE e H	24
3.4	Tipos de erro em que o método da Razão de Bowen é considerado inconsistente.....	24
4.1	Valores médios mensais de temperaturas máxima (Tmax, °C) e mínima (Tmin, °C), umidade relativa (UR, %), velocidade do vento a 10 metros de altura (V10m, ms ⁻¹) e total da precipitação pluvial (Pr, mmmês ⁻¹), nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012.....	27
4.2	Fases fenológicas utilizadas para cana-de-açúcar cultivar RB92579 cultivada em Tabuleiro Costeiro do estado da Paraíba, 2011-2012.....	30
4.3	Resultados da análise de consistência física dos dados coletados para realização do cálculo do balanço de radiação e energia pela razão de Bowen, 2011/2012.....	31
4.4	Valores médios dos parâmetros derivados do balanço de radiação de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012.....	35
4.5	Valores médios dos componentes do balanço de energia (Sr, LE, H, G) e da partição do Sr em fluxo de calor latente (LE/Sr), calor sensível do ar (H/Sr) e fluxo de calor no solo (G/Sr) para cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012.....	38
4.6	Valores mensais de precipitação pluvial (Pr, mm mês ⁻¹), irrigação (I, mm mês ⁻¹), evapotranspiração de referência (ETom, mm mês ⁻¹) e valores médios diários de evapotranspiração de referência (ETod, mmd ⁻¹) em Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012.....	42
4.7	Valores do coeficiente de cultivo recomendado pela FAO33, FAO 56 e valores médios obtidos (Kcm), quando comparados aos respectivos estádios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012.....	46

Lista de Figuras

Figura		Página
3.1	Município de Capim-PB, dentro da zona da mata norte do estado da Paraíba. Fonte: Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável (PTDRS, 2010).....	14
3.2	Torre micrometeorológica com visualização dos sensores instalados, 2011/2012.....	16
3.3	Saldo radiômetro instalado acima da cobertura vegetal da cultura da cana-de-açúcar, 2011/2012.....	17
3.4	Psicrômetro instalado acima da cobertura vegetal do cultivo da cana-de-açúcar, 2011/2012.....	17
3.5	Fluxímetro instalado na linha e entre-linhas de plantio, 2011/2012.....	18
3.6	Piranômetros instalados acima da cobertura vegetal do cultivo da cana-de-açúcar, 2011/2012.....	18
3.7	Sistema de coleta automática dos dados micrometeorológicos (Datalogger) e coleta de dados via notebook, 2011/2012.....	19
3.8	Representação das convenções dos sinais adotados para determinação dos fluxos de energia entre o ar e a superfície vegetal, sugeridas por PEREZ et al.(1999)	23
4.1	Comportamento da temperatura máxima (T_{max} , °C) e mínima (T_{min} , °C), umidade relativa (UR, %), precipitação (Pr , mmd^{-1}) e velocidade do vento (V_{10m} , ms^{-1}), nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012.....	26
4.2	Comportamento do albedo (%) e da transmissividade atmosférica (Tr) em área de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012.....	32
4.3	Totais diários da precipitação e dos termos do balanço de radiação em cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012.....	36
4.4	Totais diurnos dos termos do balanço de energia: saldo de radiação (Sr), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor do solo (G) e da precipitação (Pr , mmd^{-1}), para cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012.....	37
4.5	Irrigação (I , mm), Precipitação (Pr , mmd^{-1}) e Evapotranspiração de referência (ET_o , mmd^{-1}) em Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012.....	41
4.6	Valores da evapotranspiração da cultura pela metodologia do balanço de energia pela razão de Bowen (ET_{cBERB} , mmd^{-1}), da evapotranspiração de referência (ET_o , mmd^{-1}) e do coeficiente de cultivo (K_c) para cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012.....	44
4.7	Valores diários médios do coeficiente da cultura (K_c), coeficiente de cultivo médio nos períodos do FAO56 ($K_{cmFAO56}$), coeficiente de cultivo recomendado pela FAO56 (K_{cFAO56}), coeficiente de cultivo recomendado pela FAO33 (K_{cFAO33}) e coeficiente de cultivo médio nos períodos do FAO33 ($K_{cmFAO33}$) para a cultura da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012.....	46

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA NOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA PARAÍBA

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar tem grande expressão no país apresentando, para o estado da Paraíba, o principal cultivo na região dos Tabuleiros Costeiros. A produtividade da cana-de-açúcar pode ser aumentada quando da utilização racional da irrigação suplementar que poderá ser mais facilmente determinada quando se conhecem os valores de evapotranspiração de referência (ET_o , mmd^{-1}) e do coeficiente de cultivo (K_c) ao longo do ciclo da cultura, utilizados na determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c , mmd^{-1}), correspondente à lâmina de irrigação a ser aplicada. O método do balanço de energia baseado na razão de Bowen proporciona a determinação indireta da ET_c . Este projeto de pesquisa utilizou dados de experimento de campo conduzido no período de novembro/2011 a setembro/2012, em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar irrigada por pivô central, objetivando determinar os valores diários e o comportamento de ET_c e K_c ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar cultivada nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba. Ao longo do período de observações a precipitação total foi 873,6 mm, a temperatura média diária variou de 21,2 a 28,4 °C. O albedo médio foi 18,6%. 60,6% dos dados se mostraram consistentes possibilitando a realização dos balanços de radiação e energia. Dos 279 dias observados 99,28% foram considerados parcialmente nublados e 0,72% nublados. Foi verificado que 60,6% dos dados coletados apresentaram consistência física para serem utilizados nas estimativas do calor latente e do calor sensível. Em termos médios, 87,2% do saldo de radiação foram usados como calor latente, 10% como calor sensível e 1,8% como fluxo de calor do solo. A evapotranspiração de referência acumulada foi de 1.538,3 mm variando de 1,1 a 8,2 mmd^{-1} . A evapotranspiração da cultura acumulada foi de 1.008,4 mm, com média de 2,6 mmd^{-1} na fase I e de 3,9 mmd^{-1} na fase III; o K_c foi de 0,429 e de 0,767, respectivamente.

Palavras-chave: Balanço de energia, Razão de Bowen, Irrigação, Precipitação pluviométrica.

EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENT OF SUGARCANE GROWN IN THE COASTAL PLAINS OF PARAÍBA STATE

ABSTRACT

The cultivation of sugar cane has great expression in the country, and for the state of Paraíba, represents the main crop in the Coastal Plains. The productivity of sugar cane can be increased with the rational use of supplementary irrigation, which can be more easily determined when we know the values of evapotranspiration (ET_o , mmd^{-1}) and the crop coefficient (K_c) along the crop cycle, used in determining the evapotranspiration of the culture (ET_c , mmd^{-1}), corresponding to the depth of irrigation to be applied. The method of energy balance based on the ratio of Bowen provides the indirect determination of ET_c . This research project used data from field experiment conducted from November 2011 to September 2012, in an area of commercial cultivation of sugar cane, irrigated by a center pivot, aiming to determine the daily values and the behavior of ET_c and K_c along the cultivation cycle of sugar cane grown in the Coastal Plains of the state of Paraíba. Over the period of observations, the total precipitation was 873.6 mm, the daily average temperature ranged from 21.2 to 28.4 °C. The albedo average was 18.6 %. 60.6% of the data were consistent, enabling the performance of balance sheets of radiation and energy. Of the 279 days observed, 99.28% were considered partially cloudy and 0.72% considered under overcast conditions. It was verified that 60.6% of the collected data presented physical consistence to be used for estimating the sensible heat and latent heat. On average, 87.2% of the net radiation was used as latent heat, 10% as sensible heat and 1.8% as heat flux from the soil. The evapotranspiration of reference accumulated 1,538.3 mm, ranging from 1.1 to 8.2 mmd^{-1} . The accumulated evapotranspiration of the culture was 1,008.4 mm, with an average of 2.6 mmd^{-1} in phase I and of 3.9 mmd^{-1} in phase III, and the crop coefficient of 0.429 and 0.767, respectively.

Keywords: Energy balance, Bowen ratio, Irrigation, Rainfall

1. INTRODUÇÃO

Segundo a União das Indústrias de Cana-de-açúcar (UNICA), a cana-de-açúcar ocupa cerca de 7 milhões de hectares ou cerca de 2% de toda a terra arável do Brasil, ressaltado como o maior produtor mundial, seguido da Índia, Tailândia e Austrália. As principais regiões de cultivo são: Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste. Portanto, durante todo o ano o Brasil produz açúcar e etanol para os mercados interno e externo. Na safra 2012/13, o País processou aproximadamente 589 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, mantendo-se o estado de São Paulo em primeiro lugar (330 milhões, com produtividade média de 75 t ha⁻¹) e a Paraíba em nono (5,3 milhões, com produtividade média de 44 t ha⁻¹), o que nos dá a dimensão desta cultura para o Brasil e em particular para a Paraíba afirmando-se como cultura de grande retorno de capital para o estado (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2013).

Os baixos níveis pluviométricos e o empobrecimento mineral do solo são os principais fatores responsáveis pela baixa produtividade da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros da região Nordeste do Brasil, variando de 62 t ha⁻¹ para a Bahia, a 44 t ha⁻¹ na Paraíba. Esses dados apontam para a necessidade de se estabelecer uma política de pesquisa com irrigação e adubação dessa cultura visando aos resultados diretos, como o aumento da produtividade e rendimento de açúcar e de álcool, tal como os efeitos indiretos, como a redução da área plantada para reduzir os custos de transporte, insumos, plantio e tratos culturais. Como prática suplementar a irrigação vem sendo cada vez mais utilizada pelos produtores após a redução na produção de cana-de-açúcar, decorrente das baixas precipitações no nordeste brasileiro nos últimos anos (Silva, 2002). Em geral, a produtividade da cana-de-açúcar em áreas irrigadas varia de 100 a 150 t ha⁻¹, o que demanda 1.500 a 2.000 mm de água por ciclo da cultura (Doorenbos & Kassan, 1979). Entretanto, nas áreas canavieiras brasileiras a precipitação pluviométrica anual média varia de 1.100 a 1.500 mm, o que torna indispensável a irrigação suplementar para se obter as produções desejadas (Alfonsi et al., 1987).

O clima é o fator que oferece os maiores desafios para o manejo correto das culturas. Para que haja crescimento e desenvolvimento potencial das plantas, é imprescindível que os aspectos do clima, tais como temperatura do ar média (diurna e noturna), precipitação pluvial e radiação solar, estejam de acordo com as exigências da cultura (Fancelli & Dourado-Neto, 2000). Segundo Wutke et al. (2000), a produção agrícola está diretamente ligada ao clima podendo, desde a época do plantio até a colheita, ser substancialmente afetada pelas condições ambientais reinantes. Ademais, o manejo racional do solo e da água através de técnicas convencionais é premente para a sustentabilidade da atividade agrícola, de forma a manter esses recursos com qualidade e quantidade suficientes para se obter níveis satisfatórios de produtividade. Para Vianelo & Alves (1991), apesar dos grandes avanços técnicos alcançados pelo homem, o bem-estar econômico e social continua dependendo do clima, sendo bastante provável que esta dependência se estende no futuro.

O conhecimento da demanda hídrica das culturas é assim, de suma importância para o manejo adequado da irrigação. Para tanto, faz-se conveniente a determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultivo (K_c), para diferentes localidades, culturas e cultivares, visto que as combinações desses fatores determinam as necessidades hídricas diversas que, por diferentes motivos, podem não ser atendidas. Esta demanda hídrica pode ser determinada não apenas pelo método do balanço hídrico no solo quanto pelo método do balanço de energia sobre a vegetação. A utilização da metodologia proposta por Bowen, conhecida como balanço de energia com base na razão de Bowen (β) é um método indireto, prático, bastante utilizado e aceito para a determinação da evapotranspiração das culturas (ET_c), possibilitando a quantificação do fluxo de calor latente (evapotranspiração da cultura) durante seu ciclo fenológico, seja em escala diária ou até mesmo horária, tornando-se ferramenta indispensável ao manejo racional da irrigação (Moura et al., 2007). Vários trabalhos com o uso desta metodologia têm sido realizados, Toledo Filho (2001) com cana-de-açúcar, Inman-Bamber & McGlinchey (2003) com cana-de-açúcar, Lima et al. (2005) com feijão-caupi, Silva et al. (2007) com maracujá, Silva et al. (2007) com manga, Souza et al. (2008) com abacaxi, Acosta (2009) com girassol, Assunção & Escobedo (2009)

com amendoim; Oliveira et al. (2009) com mamona, André et al.,(2010) e Borges et al.,(2010) com cana de açúcar; Silva et al., 2011a e Bezerra et al. (2012) com algodão.

Estimativas confiáveis do coeficiente de cultivo, ao longo da estação de cultivo, permitem que se conheçam as necessidades hídricas de determinada cultura, além de facilitar o estabelecimento da frequência e a quantificação da irrigação, sem que seja preciso a medição da umidade do solo carecendo tão somente, a determinação da evapotranspiração de referência.

A presente pesquisa visou, portanto, alcançar os seguintes objetivos:

Geral: Determinar a evapotranspiração da cultura e o coeficiente de cultivo, ao longo do ciclo de produção da cana-de-açúcar em condições comerciais nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba.

Específicos:

- a) Analisar o comportamento das variáveis climatológicas da área experimental;
- b) Analisar os componentes dos balanços de radiação e energia ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar;
- c) Analisar a evapotranspiração de referência (ET_o) ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

Desde o descobrimento do Brasil a agricultura tem impulsionado nossa economia, inicialmente com a extração do pau-brasil e posteriormente com a produção de açúcar, através do cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), que se estende até os dias atuais.

A cana-de-açúcar é uma planta tropical, de origem asiática, introduzida no Brasil pelos portugueses no século XVI, sendo cultivada numa ampla faixa de latitude, desde cerca de 35 °N a 30 °S e em altitudes que variam desde o nível do mar até 1.000 metros, em cerca de 79 países com área de 12 milhões de hectares, sendo a Índia o país com maior área plantada (3 milhões de hectares), seguida do Brasil e Cuba, com mais de 1 milhão de hectares (Rodrigues, 1995). Sendo a cana-de-açúcar uma planta C4, sua alta eficiência fotossintética se deve principalmente às altas intensidades luminosas predominantes nas regiões de cultivo, os trópicos. Em condições de elevadas taxas de radiação os colmos se tornam mais grossos e mais curtos; as folhas mais longas e mais verdes e o perfilhamento mais intenso. Em condições de baixas irradiâncias os colmos são mais finos e longos, as folhas estreitas e amarelas. O fotoperíodo é importante, afetando o comprimento do colmo. Em fotoperíodos de 10 a 14 horas o colmo aumenta sofrendo redução, no entanto, em fotoperíodos longos, entre 16 e 18 horas (Rodrigues, 1995).

A cana-de-açúcar é considerada uma usina de enorme eficiência, cada tonelada tem potencial energético equivalente ao de 1,2 barril de petróleo. De 100% da cana-de-açúcar produzida no Brasil, 55% são destinados à produção de álcool combustível (anidro e hidratado - etanol) e 45% destinado à produção de açúcar (Portal São Francisco, 2013). É uma cultura dita sustentável, por ser uma alternativa viável economicamente para a produção de álcool combustível (etanol), capaz de substituir o petróleo sem proporcionar aumento no efeito estufa, além de ter, no bagaço, uma fonte geradora de energia elétrica.

A Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2013) levantou, em seu acompanhamento de safra brasileira de cana-de-açúcar, abril/2013,

que as áreas da lavoura cresceram, embora em menor ritmo, destacando-se as regiões centro-oeste e sudeste, nas quais os estados de Mato Grosso Sul (61,8 mil ha), São Paulo (49,4 mil ha), Goiás (47,5 mil ha) e Mato Grosso (15,5 mil ha), têm se destacado. A área cultivada com cana-de-açúcar, colhida na safra 2012/13, e destinada à atividade sucroalcooleira, foi de 8.485 mil ha, distribuídas em todos os estados produtores. O estado de São Paulo é o maior produtor com 52,07% (4.419,48 mil ha), seguido de Goiás com 8,55% (725,91 mil ha), Minas Gerais com 8,51% (721,88 mil ha), Paraná com 7,20% (610,83 mil ha), Mato Grosso do Sul com 6,34% (542,70 mil ha), Alagoas com 5,25% (445,71 mil ha) e Pernambuco com 3,68% (312,09 mil ha). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3%, porém, a Conab (2013) esclarece que as condições climáticas provocaram redução de 14% da produtividade em relação à safra anterior. Os estados mais prejudicados foram: Piauí (21,2%), Paraíba (20,0%), Pernambuco (19,6%), Ceará (16,7%), Maranhão (13,6%), Rio Grande do Norte (12,2%) e Alagoas (11,65%).

Em 2013 a produção de cana-de-açúcar aumentou, no Brasil, 6%, em relação ao ano de 2012, alcançando 715.333.588 t, com rendimento médio esperado de 76.947 kg ha⁻¹, aumento de 7,4% no referido período (IBGE, 2013). Ainda, segundo a CONAB (2013), a área também vem crescendo nos últimos anos, ultrapassando os 9,5 milhões de hectares em 2012.

No referido levantamento foi estimada, para o estado da Paraíba, uma área plantada de 121.980 hectares na safra 2012/13, com produtividade média de 43,9 t ha⁻¹ e produção de 5.354,92 mil t de cana-de-açúcar, em que 1.582,9 mil t para a produção de açúcar e 3.772,0 mil t para produção de etanol, sendo o 3º produtor no que se refere ao açúcar e o 2º referente ao etanol, entre os nove estados nordestinos (CONAB, 2013).

Tem-se observado, em alguns experimentos, que a satisfação adequada da demanda hídrica da cultura proporciona elevada produtividade. Casagrande (2008) estudou a demanda hídrica da cana-de-açúcar em Rio Largo - AL, sugerindo que o conhecimento da demanda hídrica da cultura possibilitaria o manejo correto de irrigação. Dantas Neto et al. (2006) testaram níveis de irrigação e adubação nitrogenada e potássica, e destacaram aumento de produtividade com o manejo adequado de irrigação e da adubação,

sobretudo na fase inicial da cana-soca e no início do máximo desenvolvimento. Comportamento similar foi observado por Santos (2005) nas condições do litoral Sul de Alagoas, que destacou que a irrigação do início do ano (janeiro), época posterior ao corte da cana, seria a mais indicada para iniciar a irrigação. Gouveia Neto (2012) observou em experimento conduzido em tabuleiros costeiros paraibano, que a cana-de-açúcar irrigada com 100% de sua demanda hídrica na condição de cana-soca apresentava maior acúmulo de biomassa de colmos. Os referidos trabalhos destacam que a má distribuição das chuvas seria o principal fator para que as cultivares comerciais não atingissem seu máximo potencial produtivo já que não têm a demanda hídrica atendida de modo espacial e temporal, e que só através do uso da irrigação suplementar este potencial poderá ser atingido.

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a fabricação do açúcar e álcool (etanol). Ela é cultivada, sobremaneira, em climas tropicais onde se alternam as estações seca e úmida. Sua floração começa em geral, no outono e a colheita se dá na estação seca, durante o período de 3 a 6 meses (Segato et al., 2006). Se bem distribuída, uma precipitação pluvial média anual superior a 1.000 mm, é suficiente para a obtenção de altas produções de cana-de-açúcar. O manejo hídrico desta cultura deve ser realizado com eficiência, ou seja, com suprimentos hídricos adequados durante o desenvolvimento vegetativo, em especial nas fases de germinação, perfilhamento e alongamento dos colmos, e alguma restrição no período de maturação para forçar o repouso fisiológico e o enriquecimento em sacarose (Inman-Bamber et al., 2002). Alguns estudos têm evidenciado que a produtividade da cana-de-açúcar é aumentada substancialmente com a irrigação, sobretudo quando os solos são bem drenados (Carter et al., 1988; Hurst et al., 2004). Entretanto, o manejo inadequado da irrigação pode favorecer problemas ambientais, como o aumento do grau de acidez dos solos e perdas de nutrientes via lixiviação (White et al., 1993; Wilson et al., 1999).

Farias (2001) concluiu, avaliando o desenvolvimento morfofisiológico da cana-de-açúcar em regime irrigado e de sequeiro, na zona da mata paraibana, que o plantio seguido de estresse hídrico reduz o perfilhamento em 41,5% no início do ciclo e o número de colmos em 37,7% no final do ciclo em comparação ao cultivo irrigado. Os parâmetros que determinam a relação entre

água e produtividade potencial da cultura são a frequência de aplicação de água, a quantidade de água aplicada, a uniformidade e a eficiência de aplicação, juntamente com a precipitação pluvial (Howell et al., 1990).

2.2 Balanços de radiação e energia sobre culturas

O balanço de energia baseado na Razão de Bowen (BERB), utilizado para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c), é um método racional, prático e indireto, utilizado para quantificar a evapotranspiração das culturas representando a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície, determinado pela relação entre o fluxo de calor sensível do ar (H , Wm^{-2}) e o fluxo de calor latente (LE , Wm^{-2}) (Perez et. al., 1999).

Toledo Filho (2001) ressaltou que, apesar das dificuldades de aquisição de dados, erros de sensibilidade e calibração instrumental, erros devidos às condições de contorno para aplicação do método de Bowen e erros em razão da advecção de energia, o método tem sido utilizado por vários pesquisadores.

Aplicando a metodologia BERB, Silva et. al. (2011b) verificaram, trabalhando com cana-de-açúcar nas condições de Juazeiro-BA, que do total de energia recebida pela cultura 81% foram utilizados como fluxo de calor latente, 16% como calor sensível e 3% como calor do solo; esse autores destacaram também que o balanço radiação dependeu do suprimento de radiação solar global, do nível de cobertura do solo e do dossel da cultura, afetando a relação entre o saldo de radiação/radiação global (Sr/Rg), aumento da magnitude do balanço de radiação de ondas longas em função da menor área foliar da cultura e redução dos valores do albedo na estação chuvosa.

O conhecimento dos componentes do balanço de energia sobre superfícies cultivadas é de grande importância para a estimativa das perdas de água para a atmosfera por evapotranspiração e caracterização do microclima local. A razão de Bowen tem sido intensamente utilizada por diversos pesquisadores com a finalidade de resolver a equação do balanço de energia sobre culturas e, assim, determinar a evapotranspiração (Azevedo et al., 2003; Silva, et al., 2007; Souza et al., 2008; Silva et al., 2009). Por outro lado, o

método do balanço hídrico se refere à contabilidade hídrica do solo, ou seja, consiste no cômputo do ganho (entrada), perda (saída) e armazenamento de água no solo. A água é fornecida à superfície do solo através da precipitação e/ou irrigação. Quanto à precipitação, o grau de molhamento do perfil do solo depende da intensidade e da duração das precipitações e da topografia do terreno. Assim, em solos com topografia acentuada predomina o processo de escoamento superficial e a duração da precipitação não constitui fator importante no molhamento do solo; entretanto, solos com topografia suave favorecem a infiltração da precipitação; logo, torna-se um fator importante para o processo de molhamento do perfil do solo principalmente para precipitações de intensidade reduzida.

A determinação do coeficiente de cultivo da cultura (K_c) da cana-de-açúcar utilizando a metodologia do BERB, foi realizada por Silva et. al. (2012a) nas condições de Juazeiro-BA, obtendo um requerimento hídrico de 1710 mm/ciclo e valores de: $K_c = 0,65$ na fase de brotação e estabelecimento, $K_c = 1,10$ durante o crescimento máximo, reduzindo para 0,85 na fase de maturação da cultura. Para as condições de Campos de Goytacazes-RJ, André et al (2010a) não observaram variações no comportamento dos termos do balanço de energia para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, embora os valores absolutos dos termos tenham sido diferentes e concluíram que o fluxo de vapor d'água foi de 0,79 no perfilhamento, 0,87 no desenvolvimento de colmos e 1,2 na maturação do saldo de radiação.

Toledo Filho (2001) concluiu que o fluxo de calor latente representa a maior parcela do saldo de radiação (78%), enquanto que o fluxo de calor sensível representa 21% deste e concluiu que a equação de Penman/ Monteith se presta perfeitamente para a estimativa da evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar na zona canavieira do Estado de Alagoas. Enquanto que Moura et al. (2007) observaram, em experimento em Juazeiro-BA, aplicando a metodologia do BERB, que o fluxo de calor latente representou 82% do saldo de radiação.

Os processos de bioconversão de energia na cana-de-açúcar são mais efetivamente afetados pela luz (intensidade e quantidade), concentração de CO_2 , disponibilidade de água e nutrientes e temperatura. O aumento de

irradiância eleva a taxa fotossintética ocorrendo a saturação acima de $0,9 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. A elevação da taxa de CO_2 da atmosfera aumenta a capacidade fotossintética sendo que vento em velocidade moderada eleva a fotossíntese por aumentar a disponibilidade de CO_2 às plantas; com baixa velocidade do vento há depressão na fotossíntese, ao redor do meio do dia (Rodrigues, 1995).

2.3 Evapotranspiração de referência (ET_o)

Segundo Allen et al. (1998), a ET_o é a evapotranspiração de uma cultura hipotética que cobre totalmente o solo em crescimento ativo, sem restrição de água nem nutricional, ou seja, em ótimas condições de desenvolvimento, possibilitando todo o seu potencial produtivo, com altura média $h = 0,12 \text{ m}$, albedo $\rho = 0,23$ e resistência estomática da superfície $r_s = 70 \text{ sm}^{-1}$.

Na determinação de ET_o adota-se como padrão para estimativa a equação de Penman-Monteith, adaptada por Allen et al. (1998) a qual incorpora aspectos termodinâmicos e aerodinâmicos incluindo na sua dedução, a resistência ao fluxo de calor sensível e vapor de água e a resistência da superfície à transferência de vapor água.

Estudando a determinação da ET_o em regiões semiáridas, Sanij, Yamamoto & Rasiah (2004) concluíram que a metodologia de determinação proposta por Penman-Monteith seria a mais indicada quando comparada com as metodologias propostas por Penman, Wright–Penman, Blaney–Criddle, Balanço de radiação e Hargreaves.

Em experimento com cana-de-açúcar, Watanabe et al. (2004) relatam que a taxa de evapotranspiração de referência aumentou a medida que o teor de água no solo também aumentava e destacaram, também, que durante a estação chuvosa a ET_o seria superior à da estação seca. Silva (2003) destaca que no uso do método de Penman-Monteith pode-se ter dificuldade em estimar adequadamente os valores de resistência do dossel por se tratar de um parâmetro que engloba fatores ambientais (radiação solar, déficit de saturação de vapor de água, disponibilidade de água no solo) e biológicos (índice de área foliar, estágio de crescimento vegetal) que, muitas vezes, não são fáceis de serem isolados, razão por que têm sido adotados, para resistência do dossel,

valores próximos de 20 sm^{-1} , para diferentes culturas com umidade próxima da capacidade de campo, aumentado sempre que a umidade do solo diminui, sugerindo valores de 50 sm^{-1} para culturas agrícolas e de 80 a 150 sm^{-1} para espécies florestais.

2.4 Evapotranspiração da cultura (ETc)

Em seus diferentes estádios de desenvolvimento, a determinação das necessidades hídricas de culturas é uma etapa importante para o manejo de irrigação. Nos últimos anos diversas pesquisas têm sido realizadas visando determinar o consumo hídrico de culturas por meio do coeficiente de cultivo, em seus diferentes estádios de desenvolvimento (Azevedo et al., 2003; Azevedo et al., 2006, Silva et al., 2007; Silva et al., 2009). Na escolha de um método para determinação da evapotranspiração devem ser levadas em consideração a praticidade e a precisão.

Os métodos micrometeorológicos de estimativa da evapotranspiração, apesar de serem baseados em princípios físicos, podem comprometer a precisão desejada do manejo da irrigação. Atualmente, utilizam-se estações meteorológicas automatizadas que auxiliam na determinação da evapotranspiração de referência diminuindo, assim, erros na lâmina de água a ser aplicada na cultura porém se faz necessário o conhecimento do coeficiente de cultivo, que muitas vezes não está disponível e precisa ser ajustado às culturas, de acordo com os valores estabelecidos por Doorenbos & Pruitt (1977). Este procedimento pode conduzir a erros apreciáveis no estabelecimento da lâmina de irrigação e assim aumentar os custos de produção e a redução da produtividade.

O conhecimento do consumo hídrico das culturas, obtido com base na estimativa da evapotranspiração da cultura, constitui-se numa informação preciosa no manejo da água em qualquer região do planeta, sobretudo neste momento em que ocorre forte conscientização popular do uso racional dos recursos hídricos. Na literatura especializada são encontradas diferentes metodologias que propiciam a estimativa do consumo hídrico de culturas. As perdas de água pelas culturas são obtidas através da estimativa da evapotranspiração, por diversos métodos micrometeorológicos ou da medida, diretamente através de evapotranspirômetros.

A estimativa adequada da evapotranspiração da cultura (ETc) consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e no manejo de sistemas de irrigação, de vez que ela totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura durante determinado período (Silva et al., 2009). Em muitas aplicações práticas a ETc é obtida através do valor da evapotranspiração potencial de uma cultura de referência (ETo), corrigida pelo coeficiente da cultura (Kc), o qual dependente do tipo de cultura e de seu estágio de desenvolvimento. Para se fazer aplicações da evapotranspiração em diversas atividades, como na utilização de recursos hídricos, por exemplo, essa estimativa é um conhecimento de grande necessidade. De acordo com Wei & Sado (1994) para utilizar os recursos hídricos mais afetivamente, a estimativa precisa da evapotranspiração é muito importante.

Para Medina et al. (1998) a estimativa da evapotranspiração é essencialmente relevante para o planejamento de irrigação, perdas de água de reservatório, previsões de escoamento superficial e em estudos de meteorologia e climatologia. Em aplicações agrícolas essas estimativas são ainda mais necessárias pois a evapotranspiração é a quantidade total de água perdida pelo sistema solo-planta para a atmosfera, a qual deve ser determinada com o maior cuidado possível, a fim de manter sempre o sistema de cultivo em condições de máximo relacionamento com o meio (Ometto, 1981). Desta forma, o conhecimento da evapotranspiração, ou o fluxo convectivo de calor latente, contribui para uma utilização mais racional da água em determinada cultura em que as fases críticas de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo são limitadas pelo fator hídrico (Cunha & Assad, 2001).

O conhecimento de como as plantas utilizam a água do solo e como elas respondem aos níveis de armazenagem a partir do balanço hídrico, pode ser uma saída viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo visando ao melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas. O movimento cíclico da água na lavoura começa com a sua penetração no solo por meio da infiltração, continua com seu armazenamento temporário na zona do sistema radicular e termina com sua remoção do solo por meio da drenagem, da evaporação e da absorção pelas raízes (Hillel, 1970). O que é

feito através do balanço hídrico nada mais é do que se tentar quantificar essas entradas e saídas de água no sistema solo-planta. Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário, portanto, computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície e as saídas, representadas pela drenagem interna, evapotranspiração e deflúvio superficial num volume de solo com base na configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo.

2.5 Coeficiente de cultivo (Kc)

O coeficiente de cultivo (Kc) é a relação entre ETc (evapotranspiração da cultura) e ETo (evapotranspiração de referência), sendo conveniente sua determinação para cada fase de desenvolvimento da cultura pois esta cresce alterando a resistência aerodinâmica do dossel, o albedo, a resistência à transferência do vapor de água das folhas para a atmosfera e a evaporação do solo (Bernardo, Soares & Mantovani, 2006; Allen et al., 1998). O Kc simples representa o efeito combinado da evaporação do solo e da transpiração da cultura apresentando um valor médio no referido tempo para a evapotranspiração da cultura, ao passo que o Kc_{dual} representa o efeito da transpiração da cultura e da evaporação do solo separadamente, podendo ser calculado como a soma do coeficiente de cultura basal e coeficiente de evaporação em função da umidade do solo. No início do desenvolvimento da cultura a diferença entre Kc simples e Kc_{dual} é maior e à medida em que a cultura se desenvolve, esta diferença tende a diminuir tornando-se nula no período de máximo desenvolvimento vegetativo (Allen et al., 1998).

A determinação do Kc em cana-de-açúcar, soca, irrigada por sulcos, foi realizada na região do vale do São Francisco, por Silva et al. (2012a), que observaram estágio de perfilhamento (Fase I) valor médio de Kc = 0,65, bem superior ao sugerido no boletim 56 da FAO (Kc ~ 0,40). No estágio desenvolvimento vegetativo (Fase II), o valor de Kc variou de 0,85 a 1,0 e no estágio de floração e maturação da cana-de-açúcar (Fase III), o valor médio de Kc foi de 1,10, inferior ao Kc = 1,25 sugerido pela FAO (Allen et al., 1998). Valor semelhante do Kc máximo foi obtido por Watanabe et al. (2004), em cultivo de cana-de-açúcar no nordeste da Tailândia. Utilizando o método do

balanço de energia pela razão de Bowen, Inman-Bamber & McGlinchey (2003) determinaram, em trabalhos realizados na Austrália e na Suazilândia, na costa austral africana, ETo de acordo com o boletim 56 da FAO e observaram valores de Kc muito próximos daqueles sugeridos pela FAO ($K_{c_{inicial}} = 0,4$ e $K_{c_{máximo}} = 1,25$). Os referidos pesquisadores verificaram que os valores de Kc obtidos variaram bastante quando se situaram abaixo de 0,8 até a cultura ter a capacidade de interceptar 80% da radiação e sugeriram que esta variação acompanhou a variação do teor de água no solo e da evapotranspiração de referência.

Na tentativa de representar a curva de variação do Kc durante o ciclo dos cultivos de cenoura, melão, banana e feijão, Sedyama & Leal (2004) sugerem um polinômio de terceiro grau incompleto como alternativa ao modelo proposto por Doorenbos e Pruitt (1977) justificando esta escolha em razão do mesmo ter apresentado, em geral, menores valores de erros relativos para os estádios de crescimento e desenvolvimento das culturas.

Trabalhando com cana-de-açúcar no litoral paraibano, onde foram avaliadas quatro lâminas de irrigação em função da evapotranspiração de referência, Silva et al. (2013) obtiveram $K_{c_{inicial}} = 0,18$, $K_{c_{máximo}} = 1,06$ e $K_c = 0,76$ no final da fase de crescimento, valores médios entre a segunda (2009/2010) e a terceira soca (2010/2011). Relacionando o aumento de Kc com o aumento da área foliar, até o ponto em que ocorreu leve queda, sugeriram uma relação linear entre o índice de área foliar (IAF) e a evapotranspiração da cultura (ETc) com coeficiente de determinação $R^2 = 0,67$ e $R^2 = 0,88$ para a relação entre o índice de área foliar e o Kc. Em experimento com cana soca nas condições do semiárido do vale do São Francisco, Silva (2009) constatou que o $K_{c_{inicial}}$ variou de 0,64 a 0,71, com média de 0,65. Na fase intermediária o Kc variou de 0,85 a 1,0 e na fase de maior desenvolvimento ficou na faixa de 1,10. Bezerra et al. (2012) observaram, que para as condições climáticas locais do semiárido do Nordeste brasileiro, os valores locais de Kc devem ser determinados e utilizados em detrimento dos valores de Kc da FAO.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento de campo foi realizado no período de novembro/2011 a setembro/2012, na Usina Miriri, na Zona da Mata Norte do estado da Paraíba, localizado no município de Capim-PB (100,3 km²), em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar, com coordenadas geográficas: 6°54'59,88" S; 35°09'17,86" O e altitude de 100 m acima do nível do mar (Figura 3.1).



Figura 3.1 - Município de Capim-PB, dentro da zona da mata norte do estado da Paraíba. Fonte: Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável (PTDRS, 2010)

A área foi cultivada com a cultivar RB92579 de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), quarta folha, material que apresenta porte alto, ótimo perfilhamento e brotação de socaria, alta adaptabilidade, produtividade e ATR (Açúcar total recuperável). É recomendada para áreas de média a baixa fertilidade, com colheita nos meses de setembro a novembro (RIDESA, 2010). As cultivares RB representam 60% de todo o material plantado no Brasil.

3.2 Clima da região de estudo

O clima da região é do tipo As', segundo a classificação climática de Köeppen, caracterizado como clima quente e úmido, com chuvas de outono a inverno, do litoral ao agreste (Silva, 2004) e o bioclima é classificado como Mediterrâneo ou Nordeste quente, de seca atenuada (Governo do Estado da Paraíba, 1985). As precipitações médias anuais se situam na faixa de 1.600 a 2.200 mm decrescendo para o interior cujo período chuvoso se inicia em fevereiro e se prolonga até agosto. O período de estiagem vai de 5 a 6 meses, a temperatura média anual está entre 22 °C e 26 °C e a umidade relativa do ar média é de 80% (AESA, 2014).

3.3 Solo da área experimental

O solo do local do experimento possui textura franco-argilo-arenosa, com capacidade de armazenamento em torno de 61mm até a profundidade de 1 m (Gouveia Neto, 2012). Parâmetros físicos do solo da área experimental são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Análise textural do solo da área experimental. Fazenda Capim II, Capim, PB

Característica analisada	Profundidade (cm)			Classe textural
	0-20	20-50	50-100	
Areia (g kg^{-1})	730	688,6	566,4	franco-argilo-arenosa
Silte (g kg^{-1})	37,5	37,7	98,6	
Argila (g kg^{-1})	232,5	273,7	335	
Densidade aparente (g cm^{-3})	1,40	1,40	1,33	
Densidade das partículas (g cm^{-3})	2,71	2,67	2,66	
Porosidade (%)	48,3	47,6	50	

Fonte: Gouveia Neto (2012). Utilizou-se metodologia da EMBRAPA (1999).

3.4 Observações meteorológicas

Em novembro de 2011 foi instalada uma torre micrometeorológica (Figura 3.2) na área experimental, ficando localizada dentro do raio de molhamento do pivô central, com os seguintes sensores: um saldo radiômetro para medição do saldo de radiação (S_r) (Figura 3.3); dois psicrômetros aspirados com termopares de cobre-constantan, para medir as temperaturas dos bulbos seco e úmido, sendo alterada sua posição de acordo com o crescimento da cobertura vegetal (Figura 3.4); dois anemômetros na mesma altura dos psicrômetros e dois fluxímetros a 0,02 m de profundidade para medir

o fluxo de calor no solo, entre as fileiras de plantas e entre plantas (Figura 3.5); a radiação global (R_g) e a radiação refletida (R_r) foram medidas por meio de dois piranômetros instalados a 0,5 m de altura do dossel da cultura, um com a face voltada para cima (R_g) e o outro para baixo (R_r) (Figura 3.6). Todos os sensores foram acoplados a um sistema de aquisição eletrônica de dados (Datalogger), programados para efetuar leituras a cada segundo e armazenar valores médios a cada 20 minutos (Figura 3.7). O sistema de aquisição de dados foi alimentado por uma bateria de 12 Volts mantida em condições de operação, em conjunto com um painel solar de 10 Watts. As características dos sensores são apresentadas na Tabela 3.2.



Figura 3.2 - Torre micrometeorológica com visualização dos sensores instalados, 2011/2012



Figura 3.3 - Saldo radiômetro instalado acima da cobertura vegetal da cultura da cana-de-açúcar. 2011/2012



Figura 3.4 - Psicrômetro instalado acima da cobertura vegetal do cultivo da cana-de-açúcar. 2011/2012



Figura 3.5 – Fluxímetro instalado na linha e entre-linhas de plantio. 2011/2012



Figura 3.6 - Piranômetros instalados acima da cobertura vegetal do cultivo da cana-de-açúcar. 2011/2012



Figura 3.7 - Sistema de coleta automática dos dados micrometeorológicos (Datalogger) e coleta de dados via notebook. 2011/2012

Tabela 3.2 - Características dos sensores e datalogger utilizados

Sensor	Modelo/marca	Constante de calibração ($\mu V W^{-1} m^{-2}$)
Saldo radiômetro	NR LITE/Kipp e Zonen	13,7
Psicrômetros aspirados	Tipo T/ Omega, Stamford, CT, USA	-
Anemômetros	Gill3 cup/modelo 12102, Young	-
Fluxímetros	Hukseflux/ HFP01	17,152 e 16,207
Piranômetros	CM3/Kipp & Zonen	17,44 e 19,10
Datalogger	CR1000/Campbell Scientific Inc.	-

3.5 Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência foi obtida com base nos dados da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, pelo Sistema Integrado de Dados Ambientais, instalada na Usina Miriri (6,94° S e 35,12° W, 103 m, código 31941), no estado da Paraíba, sendo calculada pelo método de Penman-Monteith (FAO/56), considerando-se a resistência estomática $r_s = 70 \text{ s m}^{-1}$, albedo $\rho = 23\%$ e a altura da cultura hipotética fixada em $h = 0,12 \text{ m}$ (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (S_r - G) + \gamma \left(\frac{900 U_2}{T + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (3.1)$$

em que ET_o é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}), S_r (saldo de radiação) e G (densidade do fluxo de calor no solo) expressos em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, Δ é a declinação da curva de saturação do vapor da água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) e U_2 é a velocidade do vento (média diária) a 2 m acima da superfície do solo (m s^{-1}), T é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$), e_s é a pressão de saturação do vapor de água (kPa), e_a é a pressão real do vapor (kPa) e γ é o fator psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

3.6 Balanço de radiação

O balanço de radiação sobre a vegetação foi obtido como:

$$S_r = R_{si} - R_{sr} + R_{li} - R_{le} - (1 - \varepsilon)R_{li} \quad (3.2)$$

Onde: S_r é o saldo de radiação; R_{si} e R_{sr} se referem à radiação solar incidente e refletida, respectivamente; R_{li} a radiação atmosférica incidente à superfície; R_{le} a emissão efetiva da superfície e ε a emissividade da superfície, todos em W m^{-2} .

Também foram analisados os parâmetros derivados do balanço de radiação (André & Viswanadham, 1983):

a) Albedo ou coeficiente de reflexão da superfície:

O albedo da superfície vegetativa foi obtido pela razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente, obtida por:

$$\alpha = \frac{R_{sr}}{R_{si}} \quad (3.3)$$

b) Relação entre o saldo de radiação e o balanço de radiação de ondas curtas

Os coeficientes angular (a) e linear (b) da regressão entre o saldo de radiação (S_r) e a diferença ($R_{si} - R_{sr}$) ou $(1 - \alpha)R_{si}$, foram obtidos como:

$$S_r = a + b(1 - \alpha)R_{si} \quad (3.4)$$

As propriedades térmicas do ar, coeficiente térmico (K) e coeficiente de transformação em ondas longas (K_{rl}), foram obtidos como:

$$K = \frac{1-a}{a} \quad (3.5)$$

$$K_{rl} = a - 1 \quad (3.6)$$

c) Transmissividade atmosférica

A transmissividade radiativa da atmosfera (K_t), correspondente à nebulosidade foi calculada por:

$$K_t = \frac{R_{si}}{R_a} \quad (3.7)$$

Os limites utilizados para transmissividade da atmosfera foram ($K_t < 0,20 \rightarrow$ nublado; $0,20 < K_t < 0,80 \rightarrow$ parcialmente nublado e $K_t > 0,80 \rightarrow$ céu claro).

A radiação solar global no topo da atmosfera (R_a) foi obtida em função da latitude do local, da declinação solar e do ângulo horário (Vianello & Alves, 1991):

$$R_a = S_0 \left(\frac{D'}{D}\right)^2 \cos Z \quad (3.8)$$

Onde: S_0 é a constante solar ($S_0 = 1.367 \text{ W m}^{-2}$), D a distância Terra-Sol para determinado dia do ano, D' a distância média Terra-Sol e Z o ângulo zenital, sendo $(D'/D)^2$ o fator de correção devido à excentricidade da órbita da terra.

O saldo de radiação de ondas longas (S_{rl}) foi obtido por diferença entre o saldo de radiação (S_r) e o saldo de radiação ondas curtas por:

$$S_{rl} = S_r - (1 - \alpha)R_{si} \quad (3.9)$$

3.7 Evapotranspiração da cultura pelo método da Razão de Bowen

A evapotranspiração da cultura foi determinada pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen considerando-se que o saldo de radiação pode ser determinado pela equação (Rosemberg et al., 1983):

$$S_r \cong \lambda E + H + G + S + F \quad (3.10)$$

Onde: S_r = saldo de radiação; λE = fluxo de calor latente; H = fluxo de calor sensível; G = fluxo de calor no solo; S = energia armazenada na vegetação; F = energia utilizada no processo fotossintético, todos em (W m^{-2}).

Na realização do balanço de energia sobre um dossel vegetativo os termos referentes à energia armazenada na vegetação (S) e à energia utilizada no processo fotossintético (F) foram desprezados devido à sua pequena representatividade em relação ao saldo de radiação e à dificuldade no seu cômputo (Heilman et al., 1994). Assim, a equação (3.10) fica restrita a:

$$S_r = \lambda E + H + G \quad (3.11)$$

A equação (3.11) simplificada do balanço de energia tem quatro termos mas apenas dois podem ser medidos diretamente por esta técnica, saldo de radiação e o fluxo de calor no solo; os demais, calor latente e calor sensível, foram obtidos pelas equações 3.13 e 3.14, respectivamente (Lima et al., 2005; Todd et al., 2000).

Os valores de saldo de radiação foram determinados com o uso do saldo radiômetro (Figura 3.3). O fluxo de calor no solo é a quantidade de energia armazenada no solo sendo determinado diretamente através da média aritmética das leituras de dois fluxímetros (Figura 3.5), um posicionado entre as linhas da cultura e o outro entre as plantas na linha, instalados a 2,0 cm de profundidade.

Desprezando-se os efeitos de advecção e as variações no calor armazenado no dossel vegetativo e assumindo a igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível (K_h) e latente (K_w) e $(\partial T/\partial z)/(\partial e/\partial z) \approx \Delta T/\Delta e$, a razão de Bowen foi obtida como (Verma et al., 1978):

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.12)$$

Onde: $\Delta T = T_2 - T_1$ e $\Delta e = e_2 - e_1$ são as diferenças de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e pressão real de vapor d'água (kPa) em dois níveis acima da superfície vegetada, medidas através dos psicrômetros (Figura 3.4).

Combinando a equação (3.11) com a equação (3.12), o fluxo de calor latente foi obtido como:

$$\lambda E = \frac{S_r - G}{1 + \beta} \quad (3.13)$$

O fluxo de calor latente é o calor utilizado na mudança de fase da água da forma líquida para gasosa utilizando-se a energia proveniente do sol. O fluxo de calor sensível foi obtido por diferença entre o saldo de radiação, o calor latente e fluxo de calor no solo, pela equação:

$$H = S_r - \lambda E - G \quad (3.14)$$

O fluxo de calor sensível representa o fluxo destinado ao aquecimento ou resfriamento da superfície e do ar atmosférico.

Neste trabalho foi adotada a representação dos fluxos de energia entre o ar e a superfície vegetal, segundo Perez et al. (1999) (Figura 3.8).

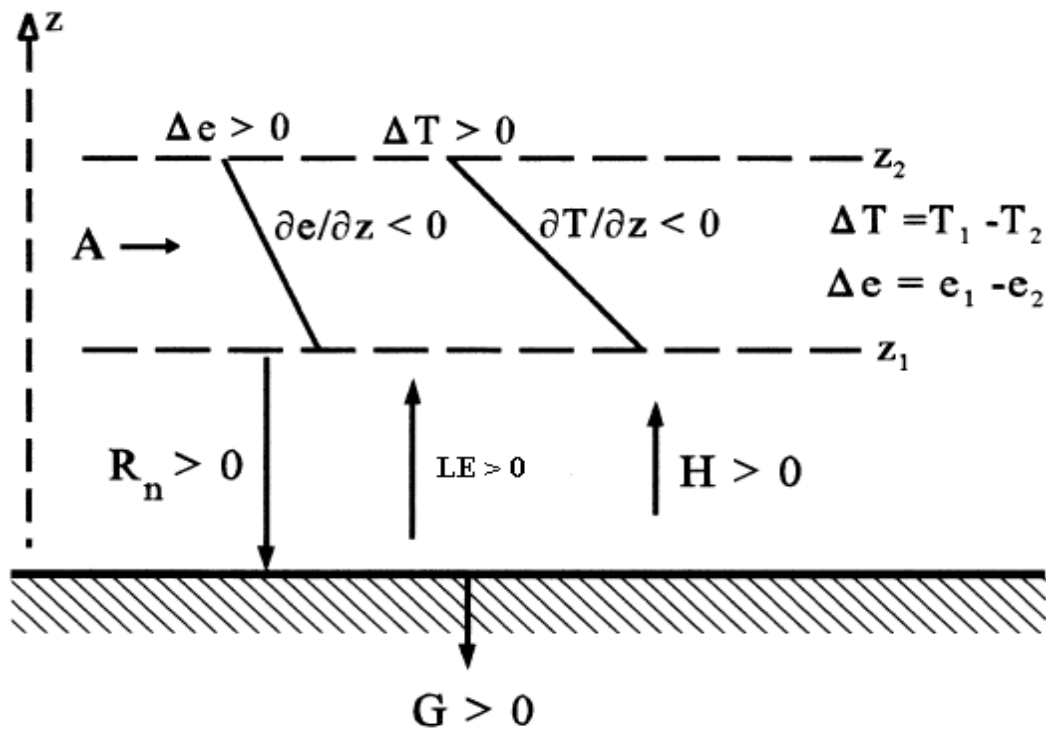


Figura 3.8 - Representação das convenções dos sinais adotados para determinação dos fluxos de energia entre o ar e a superfície vegetal, sugeridas por PEREZ et al.(1999)

Na Figura 3.8, “**A**” representaria qualquer fluxo de energia advectiva que entrasse sobre a superfície, ΔT e Δe representam a variação de temperatura e pressão de vapor em dois níveis de medição, $\delta T/\delta z$ e $\delta e/\delta z$ representam os gradientes de temperatura e pressão de vapor entre os referidos níveis (Z_1 e Z_2).

As variações médias horárias e totais diárias dos componentes do balanço de energia durante o período de coleta de dados, para o período diurno, foram determinadas para valores de $S_r \geq 20 \text{ W m}^{-2}$ (Payero et al., 2003).

Visando eliminar alguns erros associados ao método da razão de Bowen aplicado às estimativas dos valores de β e, conseqüentemente, ao cálculo dos fluxos LE e H, foram consideradas as situações que satisfazem a aplicação do método, de acordo com Perez et al. (1999) (Tabela 3.3), em conjunto com a classificação dos tipos de erros ocorridos levando o dado a ser considerado inconsistente (Tabela 3.4).

Tabela 3.3 - Condições para satisfazer o método da Razão de Bowen sob condições não advectivas, para que o dado possa ser considerado consistente, possibilitando determinação de LE e H

Energia disponível	Gradiente de pressão de vapor	Razão de Bowen	Fluxo de calor
Sr-G > 0	$\Delta e > 0$	$\beta > -1$	LE > 0 e H ≤ 0 para $-1 < \beta \leq 0$ ou H > 0 para $\beta > 0$
	$\Delta e < 0$	$\beta < -1$	LE < 0 e H > 0
Sr-G < 0	$\Delta e > 0$	$\beta < -1$	LE > 0 e H < 0
	$\Delta e < 0$	$\beta > -1$	LE < 0 e H ≤ 0 para $-1 < \beta \leq 0$ ou H < 0 para $\beta > 0$

Tabela 3.4 - Tipos de erro em que o método da Razão de Bowen é considerado inconsistente

Tipo de erro	Condição
A	Sr – G > 0, $\Delta e > 0$ e $\beta < -1 + \varepsilon $
B	Sr – G > 0, $\Delta e < 0$ e $\beta > -1 - \varepsilon $
C	Sr – G < 0, $\Delta e > 0$ e $\beta > -1 - \varepsilon $
D	Sr – G < 0, $\Delta e < 0$ e $\beta < -1 - \varepsilon $
E	Mudança rápida de temperatura e pressão de vapor

Visando a determinação do erro (E), para leitura integralizada de 20 minutos utilizou-se a equação proposta por Perez et al. (1999), a seguir:

$$E = \frac{\delta\Delta e - \gamma\delta\Delta T}{\Delta e} \quad (3.15)$$

Assumindo $\delta\Delta e = 0,02$ kPa e $\delta\Delta T = 0,05$ °C.

Adicionalmente, considerou-se que valores de $\beta < -0,75$ resultariam em valores de LE e H fisicamente inconsistentes (Ortega-Farias et al., 1996).

A evapotranspiração da cultura pelo método do balanço de energia ($ET_{C_{BERB}}$), expressa em unidades de lâmina de água em um intervalo de tempo (mm d^{-1}), foi obtida dividindo-se a equação (3.13) pelo calor latente de vaporização (λ), integrando os resultados para o período do dia em que houver energia disponível, ou seja, quando o saldo de radiação for positivo (Sr – G > 0) (Bezerra, 2007; Bezerra et al., 2010):

$$ET_{C_{BERB}} = \frac{\lambda E}{\lambda} P_p \quad (3.16)$$

Onde: P_p é o período do dia em que Sr – G > 0.

O calor latente de vaporização (λ) foi determinado pela equação:

$$\lambda = 2,501 - 0,0022361 T \quad (3.17)$$

Com λ em MJ kg^{-1} e T = temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

3.8 - Coeficiente de cultivo

De posse dos valores diários da evapotranspiração da cultura ($ET_{C_{BERB}}$) e da evapotranspiração de referência (ET_o), obteve-se o coeficiente da cultura (K_c) pela expressão:

$$K_c = \frac{ET_{BERB}}{ET_o} \quad (3.18)$$

Nas determinações de $ET_{C_{BERB}}$, ET_o e K_c e na elaboração de gráficos foram usadas planilhas eletrônicas enquanto que os valores de K_c obtidos em campo foram comparados com os recomendados pela metodologia do boletim da FAO 33 e 56.

3.9 Perfilhamento e altura de plantas

Quando da retirada da torre micrometeorológica foi realizada a contagem de perfilhos nas fileiras abaixo dos sensores no comprimento de 5 metros lineares calculando-se o número médio de perfilhos por metro em conjunto com a medida da altura das plantas e com auxílio de fita métrica, da base ao último internódio, calculando-se a altura média da planta (Farias, 2006).

3.10 Tratos culturais

Durante o período experimental foram realizados todos os tratos culturais necessários, tais como controle de pragas e doenças, capina, adubação via água de irrigação e aplicação de herbicidas.

3.11 Irrigação

As irrigações, orientadas pelo departamento técnico da empresa, foram realizadas semanalmente via equipamento pivô central, aplicando-se 100% da evapotranspiração de referência acumulada no intervalo entre estas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Comportamento dos parâmetros climáticos na área experimental

O comportamento dos parâmetros climáticos temperatura máxima e mínima, umidade relativa, precipitação e velocidade do vento a 10 m de altura, na área experimental no período de 18/11/2011 a 30/08/2012, é apresentado na Figura 4.1 e Tabela 4.1.

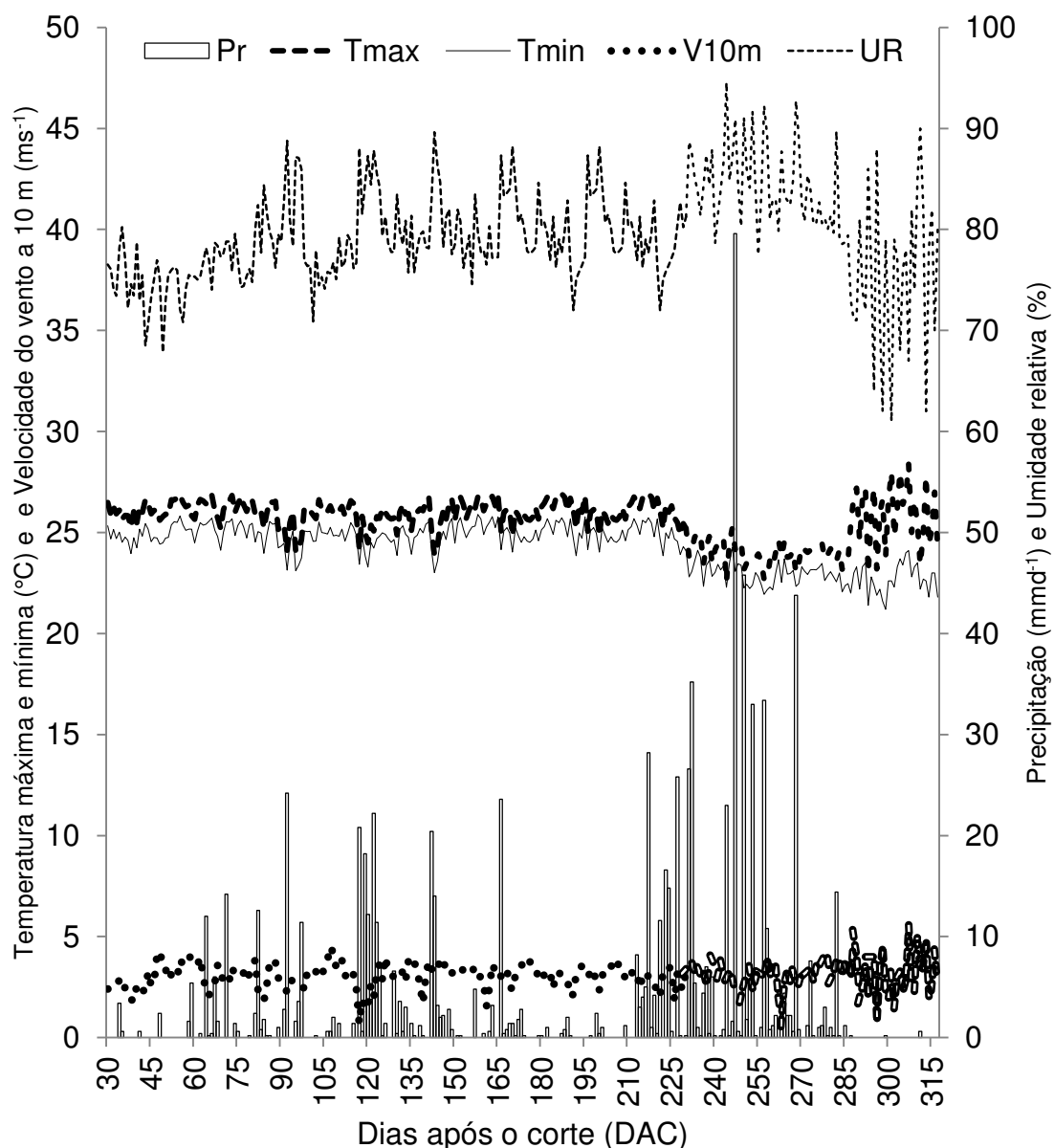


Figura 4.1 - Comportamento da temperatura máxima (Tmax, °C) e mínima (Tmin, °C), umidade relativa (UR, %), precipitação (Pr, mmd⁻¹) e velocidade do vento (V_{10m}, ms⁻¹), nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012

Tabela 4.1 - Valores médios mensais de temperaturas máxima (Tmax, °C) e mínima (Tmin, °C), umidade relativa (UR, %), velocidade do vento a 10 metros de altura (V10m, ms⁻¹) e total da precipitação pluvial (Pr, mmmês⁻¹), nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012

Ano	Mês	Valores médios				Total
		Tmax (°C)	Tmin(°C)	UR(%)	V10m(ms ⁻¹)	
2011	Nov	25,8	24,6	75,6	2,5	4,6
	Dez	26,3	25,1	75,1	3,3	44,2
2012	Jan	25,8	24,8	79,0	3,0	65,0
	Fev	25,8	24,7	80,1	3,0	118,2
	Mar	26,0	25,0	79,6	3,2	57,8
	Abr	26,1	25,0	79,9	3,1	37,4
	Mai	26,1	25,0	79,8	3,1	102,8
	Jun	24,3	23,3	84,7	3,0	304,8
	Jul	23,8	22,8	83,2	3,2	137,8
	Ago	25,9	22,7	75,1	3,1	1,0

O município de Capim está localizado na mesorregião litorânea do estado da Paraíba, o que determina características específicas no comportamento da precipitação pluviométrica (Silva et al., 2004).

Durante o período observado a precipitação total foi de 873,6 mm, com 113,8 mm distribuídos de novembro de 2011 a janeiro de 2012, com 213,4 mm de fevereiro a abril de 2012, com 546,4 mm de maio a agosto de 2012.

Analisando a precipitação na faixa litorânea da Paraíba no período de 1990 a 2005, Silva et al. (2009) destacaram o comportamento médio e o desvio padrão no período pré-chuvoso (fevereiro a abril) com $450 \pm 175,3$ mm e no período chuvoso (maio a agosto) com $765,8 \pm 285,3$ mm, com o total anual de $1468,0 \pm 429,2$ mm. Confrontando com os dados coletados verificou-se que a precipitação do período ficou dentro da faixa de variação dos valores observados pelos referidos autores.

Na safra 2009/2010, na região de Capim, Gouveia Neto (2012) observou precipitação pluvial 1502,3 mm, enquanto na safra 2010/2011 o autor constatou 765,75 mm, valores próximos aos observados neste experimento. Farias (2006) relatou a ocorrência de 1100 mm em apenas 3 meses do ano, na safra 2004/05. Silva et al (2012b) observaram precipitação total de 621 mm em Capim-PB, no período de outubro de 2009 a agosto de 2010, destacando que a ocorrência de precipitações pluviais abaixo do comportamento médio para a

região, tal como sua distribuição, corrobora a necessidade de irrigação para obtenção da produtividade máxima da cultura.

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba, da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), observa-se o comportamento da pluviometria média do estado destacando-se que a precipitação média para o local do experimento varia de 1200 a 1400 mm anuais demonstrando a redução de precipitação pluvial no período observado. Analisando os dados para o período de 1962 a 2001, na referida região, Silva et al. (2004) observaram precipitação total anual média de 1175 mm, superior à dos valores registrados neste experimento.

Doorembos & Kassan (1979) sugerem que, dependendo do clima, a demanda hídrica da cana-de-açúcar varia de 1500 a 2500 mm bem distribuídos na fase de desenvolvimento, faixa acima da observada no experimento sugerindo a necessidade da irrigação, prática já adotada e em expansão na região.

A umidade relativa do ar segue o regime de precipitação local, aumentando quando ocorrem as chuvas e diminuindo com sua escassez; por estarmos no litoral nordestino, os ventos trazem umidade do oceano, sendo um dos principais responsáveis pelo regime hídrico nos tabuleiros costeiros da Paraíba.

Em termos gerais, a temperatura variou de 21,2 a 28,4 °C, dependendo do mês analisado, Doorembos & Kassan (1979) recomendam, como temperatura ótima para a brotação, de 32 a 38 °C, já para o crescimento ótimo entre 22 e 30 °C e a temperatura mínima para crescimento vigoroso de aproximadamente 20 °C, ressaltando que a maturação seria favorecida na faixa de 20 a 10 °C, ou seja, o experimento sempre esteve submetido a condições de temperatura adequada aos processos fisiológicos da cana-de-açúcar.

A temperatura é um parâmetro muito importante na brotação e no estabelecimento da área foliar. Almeida et al. (2008) observaram, analisando o desenvolvimento vegetativo de cultivares de cana em Rio Largo-AL, temperatura média de 25 °C considerando dentro da faixa ideal e próxima da observada neste experimento com 24,9 °C de temperatura média. Ferreira Júnior et al. (2012) trabalhando na mesma região verificaram temperaturas de 20,1 a 28,2 °C, destacando não ter ocorrido limitação térmica para o

perfilhamento correto e crescimento da cana já que a temperatura média diária foi maior que 20 °C. Liu et al. (1998) sugerem a faixa de 25 a 33 °C como a mais adequada ao desenvolvimento inicial da cana.

Em experimento com cana-de-açúcar no norte-fluminense Esteves et al. (2012b) observaram variações de temperatura de 22 a 28,1 °C, considerando adequada e destacaram que só ocorreram 664,25 mm de precipitação pluvial, o que estaria abaixo das necessidades da cultura, a qual pode ter utilizado as reservas de água do solo, já que não foi observada diminuição dos valores da taxa de crescimento no período.

A cana-de-açúcar cresce em melhores condições em períodos quentes e úmidos, com radiação solar intensa durante a fase de crescimento e tem sua maturação e colheita favorecidas em períodos secos. Observa-se, portanto, que durante a realização do experimento as condições climáticas presentes foram favoráveis ao perfilhamento e ao crescimento da cana; já no mês de agosto de 2012 verificou-se aumento da temperatura e diminuição ou total ausência de chuvas, o que favoreceria a maturação e posterior colheita.

No que se refere ao comportamento dos ventos, considerado o segundo fator mais importante, depois da temperatura, relacionado à transpiração vegetal, pode-se classificá-los, em todo o período do experimento, como ventos moderados, situando-se na faixa de 2 a 5 ms⁻¹ (Doorenbos & Pruitt, 1977).

4.2 Fases fenológicas da cana-de-açúcar

A torre micrometeorológica de coleta de dados foi instalada em 17/11/2011, quando já teria decorrido parcial ou totalmente, a fase I, ou seja, aos 30 dias após o corte (DAC), ficando instalada na área até final de agosto de 2012 (317 DAC) quando, por motivos de planejamento e funcionamento do parque industrial, foi realizado o corte da cana.

Na presente pesquisa foi adotada a divisão do ciclo fenológico apresentado na Tabela 4.2, conforme estabelecido por Allen et. al. (1998) para a cana-de-açúcar cultivada em regiões tropicais. No estabelecimento de um canavial a brotação das soqueiras (Fase I) e o perfilhamento (Fase II) são essenciais na determinação da população de plantas na área.

Tabela 4.2 - Fases fenológicas utilizadas para cana-de-açúcar cultivar RB92579 cultivada em Tabuleiro Costeiro do estado da Paraíba, 2011/2012

Fase Fenológica	Dias após o Corte (DAC)		
	Início	Término	Duração
I. Brotação e emergência dos colmos	0	30	30
II. Perfilhamento e estabelecimento da cultura	31	51	20
III. Crescimento dos colmos	52	232	180
IV. Maturação dos colmos	233	320	87
Ciclo total			317

Neste experimento se obteve um número médio de 10 perfilhos por metro linear e altura média das plantas de 3,2 m quando da retirada da torre micrometeorológica. Gouveia Neto (2012) contabilizou que na cana soca, cultivar RB92579, em Capim-PB, ocorreu decréscimo de perfilhos em relação à cana planta na ordem de 57,86%, em área irrigada com 100% da evapotranspiração da cultura e destacou que o número de perfilhos é maior no início até 150 dias após o corte, para cana soca, tendendo a se estabilizar na média de 12 perfilhos por metro linear, com altura média das plantas de 3,38 m.

Analisando cultivares de cana-de-açúcar em tabuleiro costeiro alagoano, Almeida et. al. (2008) destacaram o comportamento da cultivar RB92579 aos 330 dias após o plantio ou corte, cana planta ou cana soca respectivamente, em cultivo irrigado, que atingiu altura entre 2,5 e 3,0 m, comportamento similar ao observado com a mesma cultivar neste experimento, confirmando uma das características do material que é o crescimento ereto além de alto perfilhamento, tanto em cana planta como na cana soca (RIDESA, 2010).

Trabalhando com a variedade RB75126 em tabuleiro costeiro alagoano, Santos et al. (2009b) obtiveram perfilhamento máximo até os 120 dias após o plantio e depois uma estabilização no intervalo de 9 a 12 perfilhos por metro linear.

Albuquerque (2012) obteve altura média de plantas de 3,48 m nos tratamentos que receberam lâmina plena de irrigação (100% da evapotranspiração de referência), com a cultivar RB92579 no segundo corte, em Capim-PB, valores próximos aos obtidos neste experimento.

4.3 Comportamento dos componentes dos balanços de radiação e energia

Para obtenção do balanço de radiação e energia foi realizada a análise de consistência dos dados, segundo os critérios elencados por Perez et al., (1999), que podem ser observados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Resultados da análise de consistência física dos dados coletados para realização do cálculo do balanço de radiação e energia pela razão de Bowen, 2011/2012

Ano	Mês	PDC	Tipos de Erro (%)				$(-1- \varepsilon)<\beta<(-1+ \varepsilon)$	$\beta<-0,75$	Dados
			A	B	C	D			
2011	11	21,4	4,6	6,5				481	
	12	81,3	3,8	12,4				1147	
	1	65,1	8,0	27,9				1147	
	2	81,1	3,8	12,1				1073	
	3	63,6	8,1	28,5				1147	
	4	65,4	5,8	21,6				1110	
2012	5	63,5	6,5	21,8				1147	
	6	60,6	8,3	23,9				999	
	7	42,4	7,4	44,8				911	
	8	24,3	5,4	66,5				1144	
Todo ciclo		60,6	6,7	30,6					

PDC= Percentual médio de dados consistentes

Verificou-se, para todo o ciclo que, em 60,6% dos casos os dados coletados permitiram a realização do balanço de radiação e energia; comportamento similar foi observado por Silva et al. (2011b) quando analisaram o período diurno de coleta de dados no cultivo de cana-de-açúcar, em Juazeiro-BA e obtiveram 62,7% dos dados considerados consistentes. Os erros que ocorreram foram divididos entre os do tipo A, com 6,71%, e os do tipo B com 30,60%. No caso de erros tipo B, eles ocorrem, quando $\Delta e < 0$, comportamento que deve ter ocorrido em razão da irrigação e da precipitação em combinação com a estrutura foliar da cana-de-açúcar, que proporciona concentração de vapor de água maior entre as folhas do que na atmosfera, mesmo quando $S_r - G > 0$. Os referidos autores observaram erros tipo A com 0,2%, tipo B com 4,9%, tipo C com 32,2% e tipo D com 0,1% e destacaram que os erros tipo A estão relacionados à precipitação ou irrigação devido a valores de $H < 0$. Não foram constatados valores de β dentro da faixa de rejeição e nem valores de β menores que -0,75.

Analisando a consistência física dos dados de experimentos em diferentes localidades da Espanha, na bacia do rio Ebro, com precipitações abaixo de 420 mm, Perez et al. (1999) observaram que de 30 a 44% dos dados apresentavam erros distribuídos nos diferentes tipos.

O albedo diário apresentou, durante o experimento, valor médio de 18,6%, variando de 13,0% a 24,1% (Figura 4.2). Analisando separadamente de 226 a 317 DAC, o albedo médio obtido foi de 20,8%, próximo ao obtido por Azevedo e Saboya (2014) com valor de 22,9% na mesma região, para cana de terceira folha em condições de sequeiro, no período de junho a setembro de 2011. Este comportamento pode ter ocorrido em função da nebulosidade no período. Analisando a transmissividade atmosférica (Kt) observou-se que os dias considerados nublados corresponderam a 0,7% dos casos (2 dias) enquanto os dias classificados como parcialmente nublados corresponderam a 96,5% dos casos (277 dias); não ocorreram dias de céu considerado claro nos 287 dias de observações e tiveram 2,8% dos casos (8 dias) sem condições de determinação. Este comportamento proporcionaria oscilação da quantidade de radiação refletida, alterando o valor do albedo.

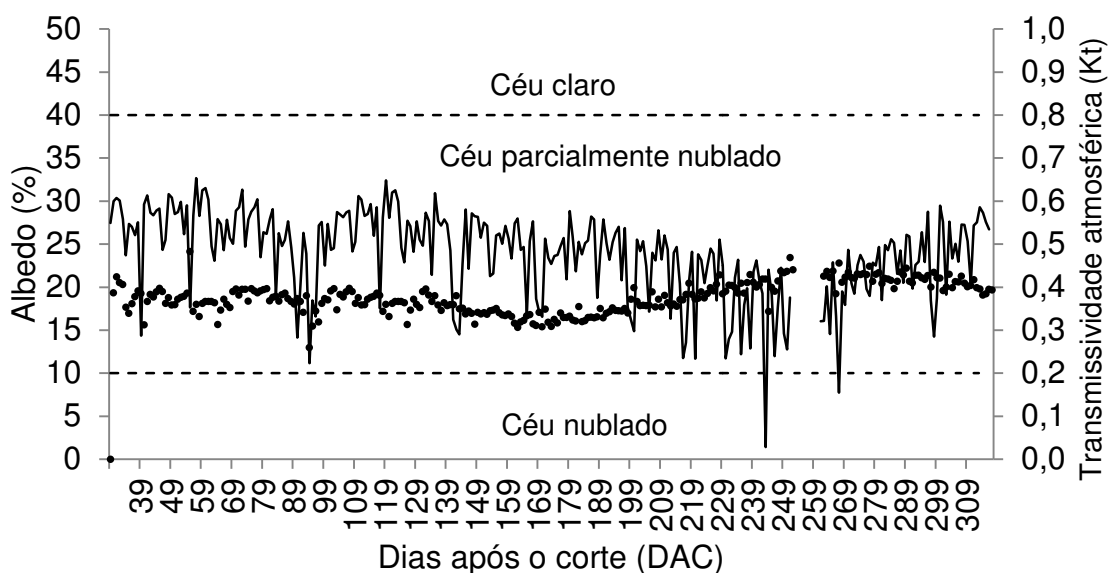


Figura 4.2 - Comportamento do albedo (%) e da transmissividade atmosférica (Kt) em área de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012

Escobedo et al. (2009) sugerem a classificação da transmissividade atmosférica (Kt), utilizando os valores obtidos para classificar as condições de

cobertura do céu, adotando: $K_t < 0,35$ para céu nublado; $0,35 \leq K_t < 0,55$, para céu parcialmente nublado; $0,55 \leq K_t \leq 0,65$, para a condição de céu parcialmente aberto e $K_t > 0,65$ para céu aberto ou ensolarado. Trabalhando com essas premissas foram obtidos 32 dias de céu nublado (11,1%), 47 dias de céu parcialmente nublado (16,4%), 179 dias de céu parcialmente claro (69,3%), 1 dia de céu claro (0,3%) e 8 dias sem condições de determinação (2,8%). Este comportamento possibilitaria entender a variação do albedo obtido no período.

André et al. (2010a) encontraram, trabalhando em Campos de Goytacazes-RJ, na Usina Santa Cruz, albedo crescente com o aumento da área foliar da cana-de-açúcar, com valores médios de 0,24, 0,27, 0,30 e 0,31 para as fases de perfilhamento, desenvolvimento inicial de colmos, desenvolvimento de colmos e maturação, respectivamente, além de valor médio para todo o ciclo da cultura, de $0,28 \pm 0,029$. Esteves et al. (2011) obtiveram, trabalhando com cana-de-açúcar, no mesmo município, albedo médio de 0,23 para o perfilhamento, de 0,28 para o desenvolvimento dos colmos e 0,26 para a maturação, para todo o ciclo de 0,26. Esses autores também observaram que os valores do albedo máximo ocorreram próximos ao nascer e pôr-do-sol e os valores mínimos próximos ao meio-dia nas fases de perfilhamento e maturação. Silva et al. (2011b) encontraram, em condições de semiárido nordestino, para o ciclo da cana-de-açúcar albedo médio de $23 \pm 3\%$, com variações entre 15 e 27%.

Em Juazeiro-BA, Carmo (2013) obteve, trabalhando com cana soca irrigada por gotejamento subsuperficial, albedo médio de 19% na Fase I, 21, 25 e 26% nas fases II, III e IV, respectivamente, salientando que, em termos diários, as condições de nebulosidade influenciaram nos componentes do balanço de radiação, em menor escala o albedo. Este comportamento parece similar ao observado nesta pesquisa, cuja nebulosidade se mostrou presente na maioria dos dias observados.

Analisando o efeito da irrigação por aspersão sobre o albedo da cultura do amendoim, em Rodelas-BA, Leitão & Oliveira (2000) observaram que nos dias de irrigação, dependendo do horário de aplicação, haveria influência diferenciada no valor do albedo médio diário; em alguns casos constataram

redução de 6,4% no seu valor quando comparado com a ausência da irrigação, quando a mesma era realizada pela manhã, porém, comparando um dia com irrigação e outro sem irrigação, observaram que o uso da irrigação proporcionaria redução imediata na radiação refletida enquanto a radiação global permaneceria inalterada e destacaram que ocorreria maior absorção de radiação na superfície devido à presença da água no solo acarretando diminuição de reflexão diminuindo, conseqüentemente, o albedo. Comportamento similar pode ter ocorrido neste experimento por ocasião das precipitações pluviométricas e pela irrigação utilizada que, em algumas vezes, era realizada durante o dia.

Em experimento com cana-de-açúcar em condições de sequeiro, em Campos dos Goytacazes, norte-fluminense, Esteves et al. (2012b) obtiveram albedo médio de $0,26 \pm 0,04$, em cana soca, no período de outubro de 2009 a julho de 2010, destacando sua dependência direta com o regime hídrico, tendo maiores valores quando a disponibilidade hídrica diminuía e comportamento oposto com o aumento da mesma.

O coeficiente térmico (K) diminuiu com o aumento da cobertura vegetal ocorrendo o contrário com o coeficiente de transformação em ondas longas, variando de -0,8 a -0,65 e de 1,84 a 4,07, respectivamente (Tabela 4.4). Esses coeficientes são ferramentas úteis no entendimento das transformações de energia na superfície e na atmosfera por apresentarem diferenças sensíveis nos diversos estádios fenológicos da cultura da cana-de-açúcar (André et al., 2010a).

Fisicamente, K representa a parcela do saldo de radiação convertido em ondas longas; assim, um aumento na radiação solar global implica em aumento na emissão efetiva da superfície, o que provoca aumento em K. Os menores valores de K (maiores valores de K_{rl}), no estágio de desenvolvimento vegetativo indicaram que a maior parcela do saldo de radiação foi convertida em calor latente. O coeficiente térmico diminuiu com a elevação da cobertura vegetal ocorrendo o contrário com o coeficiente de transformação em ondas longas (André et al, 2010b).

Desta forma, as magnitudes dos termos do balanço de radiação e dos parâmetros derivados, ao longo do ciclo de desenvolvimento da

cana-de-açúcar foram usadas para os cálculos do balanço de energia e do fluxo de vapor d'água.

Tabela 4.4 - Valores médios dos parâmetros derivados do balanço de radiação de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012

Ano	Mês	Parâmetros do balanço de radiação					
		a	b	r^2	K	Krl	Kt
2011	Nov	2,84	5,59	0,88	-0,65	1,84	0,54
	Dez	3,26	4,50	0,76	-0,69	2,26	0,56
2012	Jan	3,25	4,00	0,87	-0,69	2,25	0,49
	Fev	3,42	3,93	0,77	-0,71	2,42	0,55
	Mar	4,61	0,74	0,86	-0,78	3,61	0,50
	Abr	5,07	0,00	0,90	-0,80	4,07	0,48
	Mai	4,89	-1,33	0,94	-0,80	3,89	0,43
	Jun	3,90	-0,07	0,98	-0,74	2,90	0,33
	Jul	3,76	-0,07	0,99	-0,73	2,76	0,33
	Ago	4,80	-3,54	0,95	-0,79	3,80	0,49
Geral		1,45	9,22	0,25	-0,31	0,45	0,46

Coeficiente angular (a), coeficiente linear (b), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente térmico (K), Coeficiente de transformação em ondas longas (Krl) e Transmissividade atmosférica (Kt)

As regressões lineares entre o saldo de radiação (S_r) e o saldo de radiação de ondas curtas $[(1-\alpha) R_{si}]$, são apresentadas na Tabela 4.4, na qual se visualiza os valores dos coeficientes angulares (a) e lineares (b) e o coeficiente de determinação (r^2). Observa-se que as regressões lineares tiveram ajustes com r^2 variando de 0,76 a 0,99.

As variações da precipitação (Pr), da radiação solar incidente (R_{si}), radiação solar refletida (R_{sr}), do saldo de radiação (S_r), do saldo de radiação de ondas longas (S_{rl}) é visualizada na Figura 4.3. O S_r esteve em consonância com R_{si} e R_{sr} e Tr.

O comportamento do saldo de radiação (S_r), do fluxo de calor latente (LE); do fluxo de calor sensível (H) e do fluxo de calor no solo (G) é apresentado na Figura 4.4 e Tabela 4.5.

As oscilações de valores de S_r foram acompanhadas pelos demais parâmetros. Em termos médios percentuais em relação ao S_r , o LE ficou com 87,2%, H com 10% e G com 1,8% (Tabela 4.5).

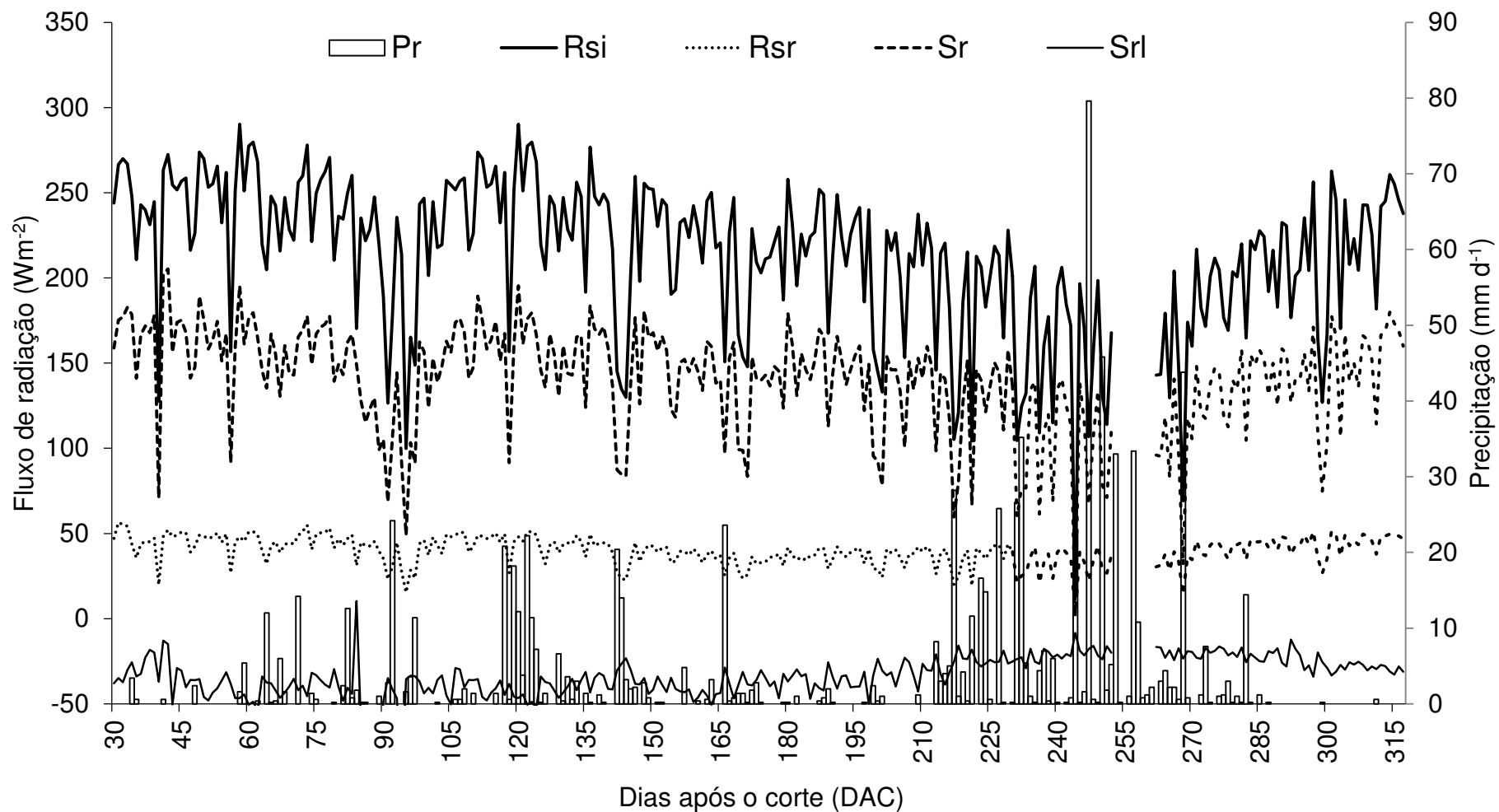


Figura 4.3 - Totais diários da precipitação e dos termos do balanço de radiação em cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012

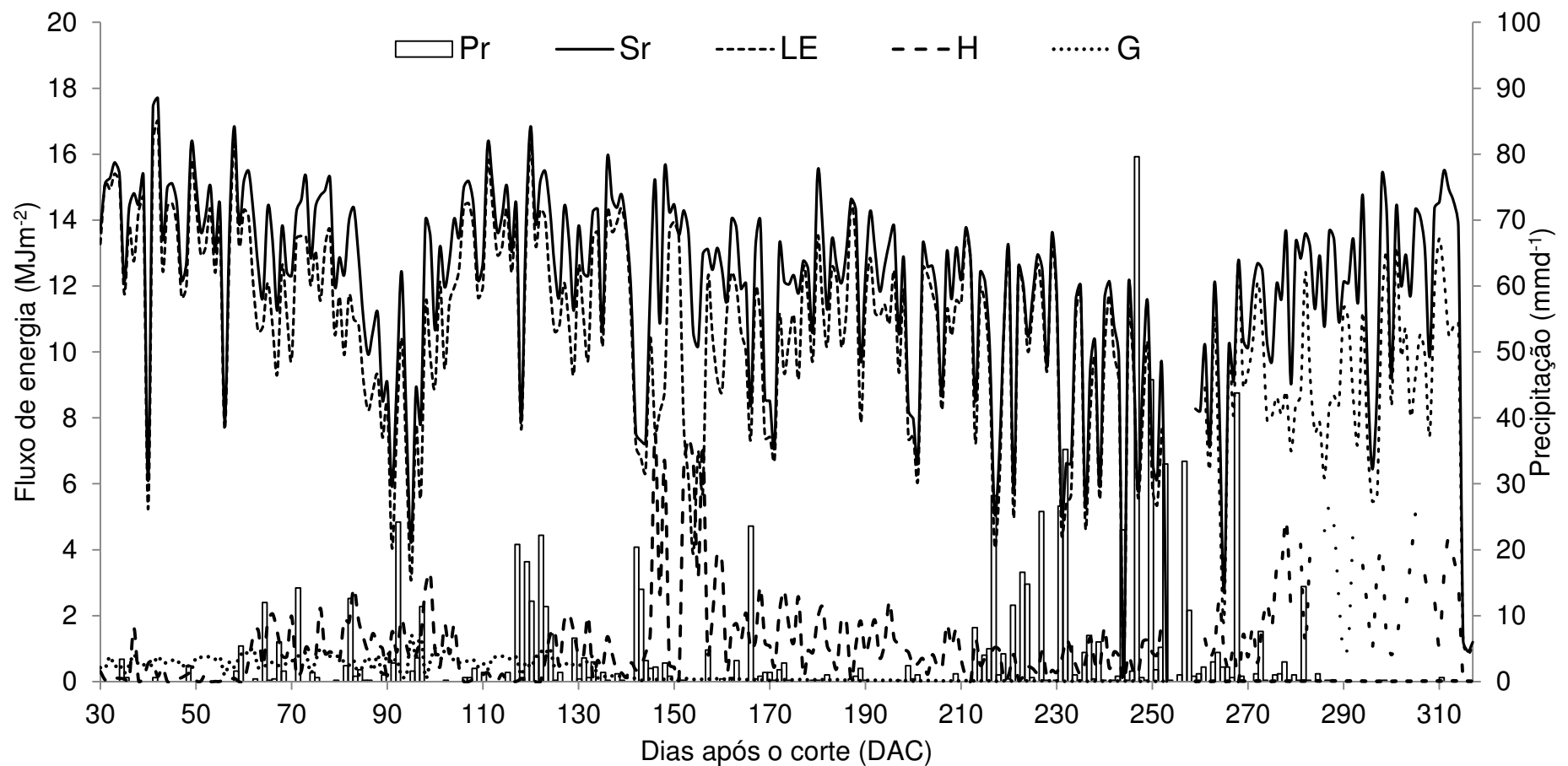


Figura 4.4 - Totais diurnos dos termos do balanço de energia: saldo de radiação (Sr), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor do solo (G) e da precipitação (Pr, mmd^{-1}), para cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012

Tabela 4.5 - Valores médios dos componentes do balanço de energia (Sr, LE, H, G) e da partição do Sr em fluxo de calor latente (LE/Sr), calor sensível do ar (H/Sr) e fluxo de calor no solo (G/Sr) para cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2011/2012

Mês/ano	Sr	LE	H	G	LE/Sr	H/Sr	G/Sr
	-----MJm ⁻² d ⁻¹ -----				-----%-----		
11/11	14,4	13,8	0,3	0,54	94,8	1,9	3,4
12/11	13,8	12,7	0,5	0,63	91,5	3,6	4,1
01/12	11,5	9,7	1,3	0,66	83,2	11,3	6,2
02/12	13,7	12,7	0,5	0,61	91,5	3,6	4,0
03/12	12,7	10,3	2,3	0,09	80,9	17,5	0,2
04/12	12,1	10,7	1,4	0,05	87,8	10,9	0,0
05/12	11,0	10,2	0,7	0,02	92,0	6,9	0,0
06/12	8,9	8,5	0,7	0,02	93,6	8,1	0,3
07/12	10,7	8,7	2,1	0,01	78,8	17,5	0,0
08/12	11,6	9,0	2,5	0,01	78,2	18,7	0,1
Média	12,0	10,6	1,2	0,3	87,2	10,0	1,8

O saldo de radiação apresentou oscilações diárias, acompanhando as condições de transmissividade ao longo do período estudado; por outro lado as magnitudes dos fluxos médios diários de LE, H e G acompanharam essa tendência. Ao longo do período o LE não só apresentou grande variação mas também a maior parcela do saldo de radiação.

Em cultivo de cana-de-açúcar em condições de sequeiro com a mesma cultivar RB92579 e no mesmo local desta pesquisa, de junho a setembro de 2011, Oliveira (2012) observou comportamento similar em termos de predominância de LE sobre H e G, destacando que a variação decorreu do regime de chuvas e da nebulosidade da região; ressaltou, também, que a variação do saldo de radiação é que comanda a variação de LE, H e G.

Este comportamento também foi observado em trabalhos com cana-de-açúcar, realizados por André et al. (2010b) em Campos de Goytacazes-RJ, por Silva et al. (2011b) em Juazeiro-BA, em que a maior porção do saldo de radiação foi transformada em fluxo de calor latente.

Durante todo o ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar cultivada no norte-fluminense, Esteves et al. (2012a) observaram que o saldo de radiação foi consumido, em média, nas seguintes porcentagens: 53% pelo fluxo de calor latente; 37% pelo fluxo de calor sensível e 10% pelo fluxo de calor no

solo e destacaram que na fase de desenvolvimento dos colmos, durante um período prolongado de baixa disponibilidade hídrica, houve queda tanto em relação às taxas de crescimento vegetal como no consumo da energia pelo fluxo de calor latente, demonstrando sua interdependência com o regime hídrico e a cobertura vegetal.

Verifica-se, em canaviais, que quando a cultura dispõe de umidade suficiente, tanto no solo como no dossel, a maior quantidade do S_r é utilizada na evapotranspiração, na forma de LE e em menores quantidades por H e G, mostrando que tal diferença ocorreu em virtude da alta variação na nebulosidade e nas precipitações. Esses resultados concordam com os obtidos em vários trabalhos com balanço de energia em culturas anuais e perenes, através dos quais se concluiu que a maior porção do saldo de radiação é transformada em fluxo de calor latente (André et al., 2010b; Silva et al., 2011b).

Estudando os aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes-RJ, André et al. (2010b) obtiveram S_r variando de 10,9 a 17,26 MJ m⁻² d⁻¹, sendo a maior parte utilizada pelo LE, que variou de 79% no início do perfilhamento a 99% no final da maturação; já o H apresentou pequenas variações com valores muito baixos tal como o G. O excesso de umidade, no solo ou no dossel da cana-de-açúcar contribuiu durante o período estudado, para os elevados valores de LE uma vez que a energia, ao incidir sobre a superfície, é prioritariamente utilizada no processo de transferência de água, na forma de vapor, para a atmosfera (evapotranspiração) para, posteriormente e em menor quantidade, ser utilizada nos processos de aquecimento do ar (H) e do solo (G).

Trabalhando com abacaxi em tabuleiro costeiro paraibano, no período de março de 2001 a julho de 2002, Azevedo et al. (2007) sugerem que o comportamento do LE pode ser parcialmente atribuído à variação do crescimento da cobertura vegetal. Comportamento similar ao obtido nesta pesquisa em que, de início o solo estava mais exposto possibilitando mais evaporação e à medida que a cultura cresceu, a área foliar aumentou, aumentando a transpiração, por se ter mais energia para transformar a água em vapor.

H e G apresentaram valores muito baixos da partição da radiação líquida proporcionando também pequenas oscilações durante os meses. O

decréscimo e o acréscimo ocorridos nos referidos meses não proporcionaram grandes diferenças em comparação individual das partições da radiação líquida, o que pode estar associado ao período que compreendeu à pesquisa. Esta ordem de grandeza, com predominância de Sr para LE seguido de H e G, tem sido padrão observado nas determinações do balanço de energia, que empregam o uso da razão de Bowen em culturas agrícolas (Silva et al., 2009; André et al., 2010b).

Em cultivo da cana-de-açúcar no estado do Rio de Janeiro, André et al. (2010b) observaram que para os dias típicos o fluxo de vapor d'água representou 78% (DAC = 109), 80% (DAC = 197), 91% (DAC = 260) e 96% (DAC = 339) do valor do Sr e ainda constataram que para as fases de perfilhamento, desenvolvimento de colmos e maturação, o fluxo de vapor d'água apresentou valores médios de 79; 87; 99 e 120% do Sr, respectivamente.

Silva et al., (2011b) trabalhando com a cana-de-açúcar cultivada em Juazeiro-BA obtiveram resultados que se assemelham, em parte, aos desta pesquisa, em que a maior porção do Sr disponível para o cultivo foi utilizada para o LE (81%), seguido do H (16%) e o G (3%). Já Silva et al. (2009) obtiveram em experimento com manga, em Petrolina-PE, 78% do Sr sendo utilizado como LE, 18% como H e 4,4% como G. Os autores também observaram que a prática de irrigação interfere nas trocas energéticas entre a comunidade vegetal e a atmosfera circundante, aumentando a relação LE/Sr e diminuindo H/Sr

4.4 Evapotranspiração de referência

Os comportamentos da evapotranspiração de referência (ET_o , mmd^{-1}) determinada pelo método de Penman-Monteith (FAO, 56) e da precipitação (Pr , mmd^{-1}) são apresentados na Figura 4.5.

Pode-se observar as variações da ET_o durante o período do experimento de acordo com as variações do clima local, a qual tende a acompanhar o regime da precipitação pluvial. O litoral paraibano é uma região sujeita a alto índice de nebulosidade, já constatado através dos valores de transmissividade atmosférica que podem variar, causando abertura ou fechamento da passagem dos raios solares.

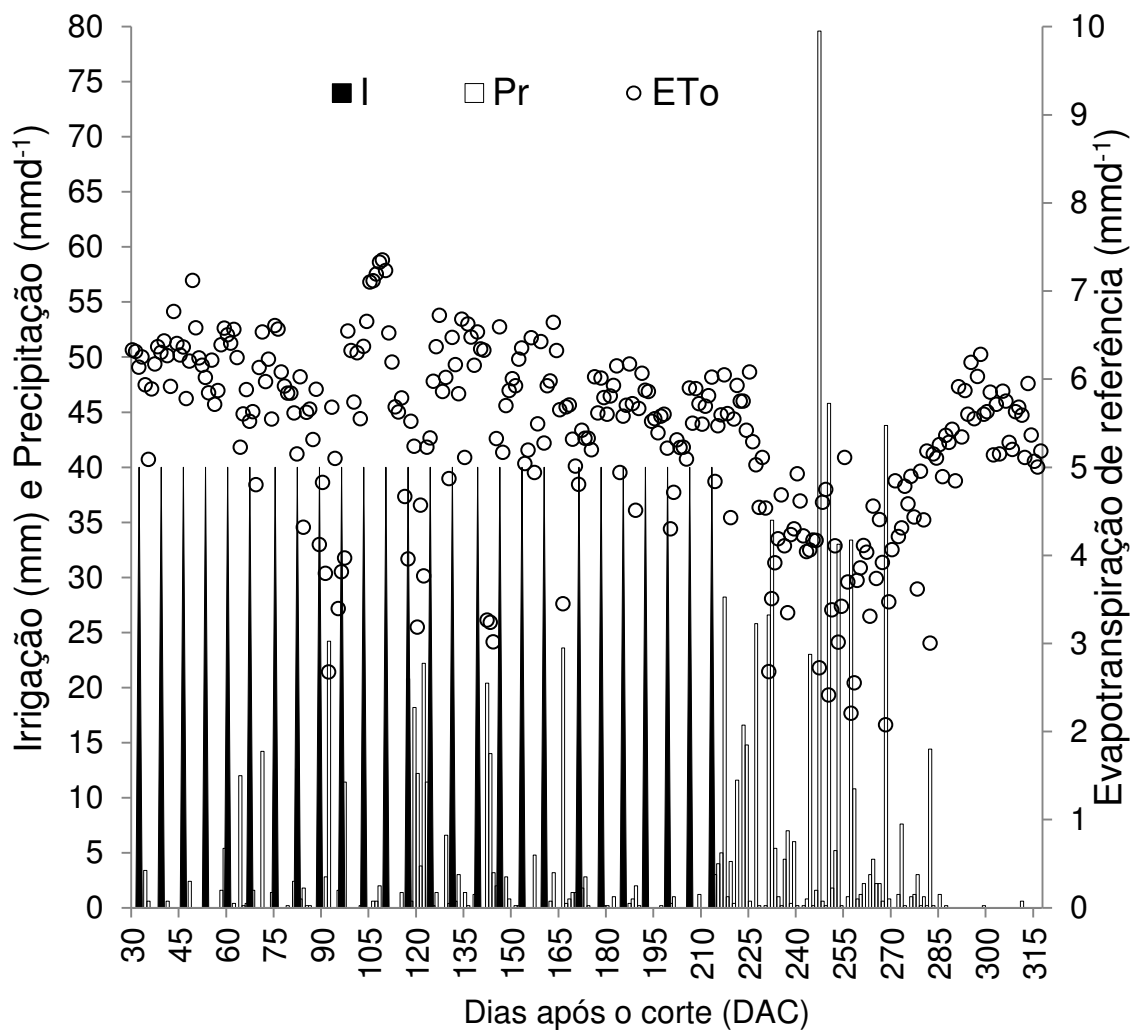


Figura 4.5 - Irrigação (I, mm), Precipitação (Pr, mmd^{-1}) e Evapotranspiração de referência (ETo, mmd^{-1}) em Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012

Durante o período do experimento observou-se ETo total de 1538,3 mm. Em termos médios diários, o mês de junho/2012 apresentou o menor valor de ETo com $4,11 \text{ mmd}^{-1}$ e dezembro/2011 apresentou o maior valor com $6,12 \text{ mmd}^{-1}$, justificado pela precipitação de 304,8 mm e de 44,2 mm, respectivamente. Normalmente, as irrigações eram realizadas com frequência semanal com lâmina de 40 mm por aplicação, totalizando 1040 mm (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Valores mensais de precipitação pluvial (Pr, mm mês⁻¹), irrigação (I, mm mês⁻¹), evapotranspiração de referência (ETom, mm mês⁻¹) e valores médios diários de evapotranspiração de referência (ETod, mmd⁻¹) em Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012

Ano	Mês	Pr mm mês ⁻¹	I mm mês ⁻¹	ETom mm mês ⁻¹	ETod mmd ⁻¹
2011	Nov	4,6	80	79,39	6,11
	Dez	44,2	160	189,72	6,12
2012	Jan	65	200	166,82	5,38
	Fev	118,2	160	168,85	5,82
	Mar	57,8	160	176,60	5,70
	Abr	37,4	160	165,40	5,51
	Mai	102,8	120	169,65	5,47
	Jun	304,8	0	123,16	4,11
	Jul	137,8	0	127,30	4,11
	Ago	1,0	0	171,42	5,53
Total		873,6	1040	1538,30	

Albuquerque (2012) obteve, em experimento com cana-de-açúcar cultivar RB92579, em Capim-PB, na safra 2010/11, o total de 1829,1 mm de ETo, utilizando o método de Penman-Monteith (FAO/56) enquanto que neste experimento foram obtidos 1538,3 mm, de 18/11/2011 a 31/08/2012; já de setembro de 2005 a novembro de 2006, na região de Rio Largo-AL, Araújo Neto (2013) observou 1845 mm de evapotranspiração potencial, determinada pelo mesmo método.

Em experimento instalado em Campos dos Goytacazes, RJ, com cana-de-açúcar na Usina Santa Cruz de agosto de 2005 a agosto de 2006, André et al. (2010a) observaram valores médios de 5,12 mm; 6,17 mm; 5,04 mm e 4,62 mm para a evapotranspiração potencial, nas fases de perfilhamento, desenvolvimento de colmos e maturação, respectivamente.

Trabalhando na determinação de ETo no município de Capim-PB, no período de abril a agosto de 2009, Silva et al. (2011a) obtiveram menores valores de ETo, variando entre 1,70 mmd⁻¹ em abril a 1,10 mmd⁻¹ em agosto, comportamento este relacionado ao período chuvoso em virtude da pouca disponibilidade energética. Os autores também verificaram maiores valores de ETo em setembro de 2008, fevereiro, julho e setembro de 2009, com valores superiores a 7,0 mmd⁻¹; este comportamento, por sua vez, foi relacionado à

alta demanda atmosférica e também à maior disponibilidade de água no solo através da precipitação ou irrigação, concluíram que a variável mais sensível na determinação do referido parâmetro era o saldo de radiação seguido da umidade relativa, velocidade do vento e da temperatura do ar.

Em estudos com a cultura do abacaxi em tabuleiro costeiro paraibano, no período de março de 2001 a julho de 2002, Azevedo et al. (2007) obtiveram evapotranspiração de referência total anual de 1614,9 mm, com médias diárias variando de 3,7 a 5,5 mmd^{-1} e destacaram que o teor de umidade do ambiente foi considerado alto com 94% e a temperatura média foi de 26,5 °C.

Avaliando o requerimento hídrico e o coeficiente de cultivo da cana-de-açúcar cultivar RB92759 em Juazeiro-BA, no período de 19/06/2007 a 10/06/2008, Silva et al. (2012a) obtiveram evapotranspiração de referência total anual de 1743 mm, para uma precipitação pluviométrica de 523 mm e destacaram que por ocasião do aumento de ETo a frequência de irrigação também aumentou.

4.5 Evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo

Os valores diários da evapotranspiração da cultura obtida pela razão de Bowen (ETcBERB), de evapotranspiração de referência (ETo) e do coeficiente de cultivo (Kc) são apresentados na Figura 4.6.

Em estudo na região de Capim-PB, durante o período de outubro de 2009 a agosto de 2010, Garcêz (2013) determinou a evapotranspiração da cana-de-açúcar por diferentes métodos obtendo 1.400,3 mm pelo balanço de energia, 1.235,3 mm por Priestley & Taylor, 1.555 mm pelo coeficiente de cultivo e 1600 mm pelo balanço hídrico no solo.

Analisando nove cultivares de cana-de-açúcar em Rio Largo-AL, inclusive a cultivar RB92579, no período de fevereiro de 2008 a fevereiro de 2009, Ferreira Júnior et al. (2012) obtiveram taxa média de 4,3 mmd^{-1} de ETc. A precipitação total foi de 1.923 mm superando a ETc de 413 mm mas, devido à má distribuição das chuvas, realizou-se a aplicação de 699 mm, via irrigação por gotejamento subsuperficial.

Em termos de ETc, Silva et al. (2012a) relataram o total de 1.686,7 mm na safra 2009/2010, em primeira folha da cultivar RB92579, em Capim-PB, em

condições de irrigação semanal com a aplicação de 100% da ETo via pivô central.

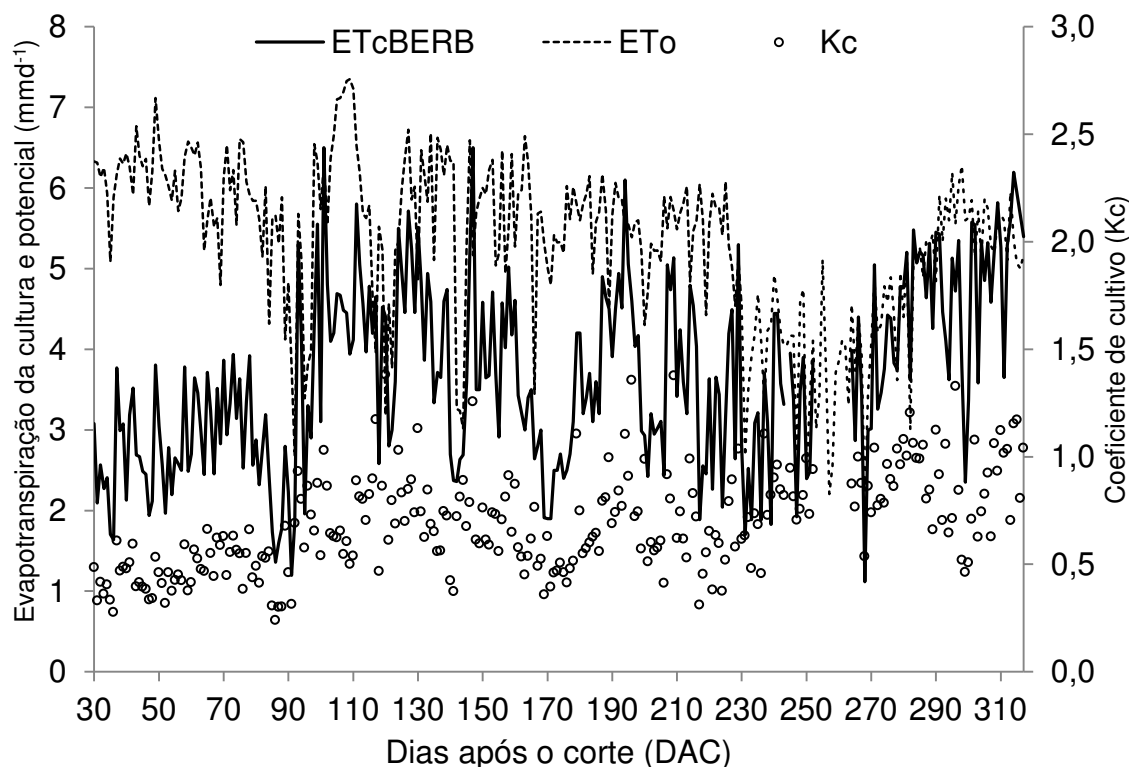


Figura 4.6 - Valores da evapotranspiração da cultura pela metodologia do balanço de energia pela razão de Bowen (ETcBERB, mmd^{-1}), da evapotranspiração de referência (ETo, mmd^{-1}) e do coeficiente de cultivo (Kc) para cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012

Em experimento com a cultivar RB92579 em condições de sequeiro, Araújo Neto (2013) obteve 1948 mm de ETc para todo o ciclo, com média diária de 4,6 mm e observou tendência de que a cultura reteria água quando em condições de estresse hídrico diminuindo a evapotranspiração e que maiores teores de umidade do solo possibilitariam aumento da evapotranspiração.

Trabalhando com a cultivar RB92579, em Rio Largo- AL, Almeida et al. (2008) obtiveram ETc de 1584 mm durante todo o ciclo de cana-soca sob irrigação.

Avaliando o consumo hídrico e a produtividade de cultivares de cana-de-açúcar RB em Rio Largo-AL, em cultivo de 4^a folha, no período de 22/11/2008 a 22/01/2010, Gomes et al. (2010) observaram precipitação pluvial

do 2º decêndio de novembro de 2008 ao 2º decêndio de janeiro de 2009, de 1935 mm e ETc de 1785 mm, com média diária de $4,1 \text{ mmd}^{-1}$ e ressaltaram que a má distribuição das chuvas provocou estresse hídrico afetando a produtividade das cultivares. Sá et al. (2010) obtiveram, trabalhando com as mesmas cultivares RB, na 3ª folha irrigada por gotejamento subsuperficial no mesmo município, ETc de 1421 mm, com média diária de $3,95 \text{ mmd}^{-1}$; apesar de ter ocorrido precipitação pluvial de 1886 mm, a irrigação se fez necessária em virtude da má distribuição das chuvas e que, ao final do ciclo, a irrigação e a precipitação pluvial efetiva somaram 1687 mm.

No período de 19/06/2007 a 10/06/2008, em cultivo de cana-de-açúcar cultivar RB92759 em Juazeiro-BA, Silva et al. (2012a) constataram que a ETc oscilou de $1,2 \text{ mmd}^{-1}$ a $7,5 \text{ mmd}^{-1}$, com média de $4,7 \text{ mmd}^{-1}$ e de 1710 mm durante todo o ciclo, destacaram que entre os 200 e 300 dias após o corte a ETc diminuiu em razão do tombamento, o que afetou o processo de evapotranspiração como resultado de redução do índice de área foliar. Na área em que estava instalada a torre com os sensores, não foi observado tombamento, mas tal fato ocorreu dentro do raio de cobertura do pivô central. Foi observado tombamento de plantas a distância superior a 20 m da torre micrometeorológica.

Comparando o rendimento de cultivares de cana-de-açúcar em Alagoas, no período de 09/2005 a 11/2006, Lima et al. (2010) obtiveram ETc de 2068 mm, nos 420 dias de cultivo enquanto a precipitação pluvial foi de apenas 1825 mm, esse autores destacaram também que a má distribuição das chuvas afeta diretamente o rendimento em razão de ocorrerem déficit e excesso hídrico em determinadas épocas do ano.

Seguindo a distribuição das fases fenológicas observou-se, em valores médios, na Fase I que: $ETo = 6,1 \text{ mmd}^{-1}$ e $ETcBERB = 2,6 \text{ mmd}^{-1}$. Fazendo o ajuste do $Kc_{inicial}$ conforme o boletim FAO56, concluiu-se que o valor seria de 0,40 (Figura 4.7 e Tabela 4.7). O valor obtido de $Kc_{médio} = 0,43$ foi superior ao recomendado pela FAO-56 e inferior ao valor médio de 0,65 encontrado por Silva et al. (2012a) em cana soca, em Petrolina-PE. Em experimento com cana-de-açúcar na região semiárida da Tailândia, Watanabe et al. (2004) obtiveram valores de $Kc_{inicial}$ entre 0,1 e 0,9.

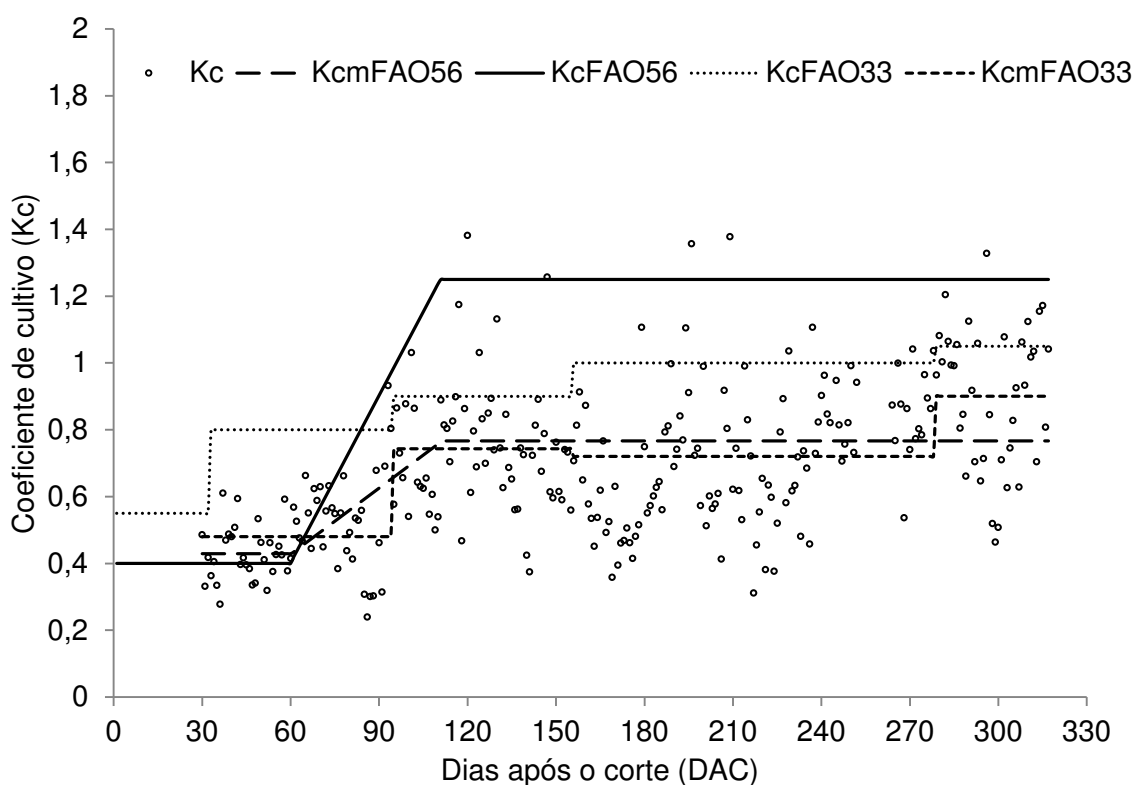


Figura 4.7 - Valores diários médios do coeficiente da cultura (Kc), coeficiente de cultivo médio nos períodos do FAO56 (KcmFAO56), coeficiente de cultivo recomendado pela FAO56 (KcFAO56), coeficiente de cultivo recomendado pela FAO33 (KcFAO33) e coeficiente de cultivo médio nos períodos do FAO33 (KcmFAO33) para a cultura da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012

Tabela 4.7- Valores do coeficiente de cultivo recomendado pela FAO33, FAO 56 e valores médios obtidos (Kcm), quando comparados aos respectivos estádios de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo 2011/2012

Coeficiente de cultivo	Estádios de desenvolvimento				
	I	II	III	IV	V
FAO33	0,40-0,50	0,70-1,00	1,00-1,30	0,75-0,80	0,50-0,60
KcmFAO33	0,43	0,74	0,72	0,90	
FAO56	0,40	-	1,25	0,75	
KcmFAO56	0,43	-	0,77		

O valor de K_c na fase inicial é tabelado pela FAO56 em 0,40 mas deve ser obtido pelo método gráfico do referido manual; em função do intervalo de tempo entre os eventos chuva e/ou irrigação e da magnitude da E_{To} , obteve-se o valor de $K_{c_{inicial}}$ de 0,40, para E_{To} médio de $6,1 \text{ mmd}^{-1}$ e turno de rega entre 7 e 10 dias, para lâminas aplicadas maiores ou iguais a 40 mm (Allen et al., 1998).

Na fase inicial a evaporação predomina em relação à transpiração da cultura, o que pode proporcionar elevada variabilidade do valor de K_c , com variações entre 0,1 e 1,15 (Allen et al., 1998; Soares et al., 2001).

Santos et al. (2009a) obtiveram diferentes valores para o $K_{c_{inicial}}$. Em condições de alta frequência de molhamento do solo o $K_{c_{inicial}}$ foi de 1,15 para cana de sequeiro plantada entre julho e agosto; já para os plantios entre setembro e outubro, o $K_{c_{inicial}}$ foi de 0,24, na região de Rio Largo-AL, sugerindo a necessidade de ajustes às condições locais e à variedade utilizada.

Araújo Neto (2013) obteve valores de K_c para cana-de-açúcar em condições de sequeiro em Rio Largo-AL, de 0,2 na fase I; 1,18 na fase III e 0,65 na fase IV, para cultivo realizado de setembro de 2005 a novembro de 2006, com a cultivar RD 92579.

Em trabalho realizado em Campos de Goytacazes, Lyra et al. (2012) destacaram que o $K_{c_{inicial}}$ sofreu variação em função da época de plantio, das características varietais e da textura do solo, sendo oportuno ajustá-lo localmente; na fase II o crescimento do dossel é maior aumentando a demanda hídrica e conseqüentemente o valor de K_c . Em termos médios, a E_{To} foi de $5,3 \text{ mmd}^{-1}$, a E_{TcBERB} de $4,0 \text{ mmd}^{-1}$ e o K_c foi variável e crescente até o início da fase III.

A torre micrometeorológica foi retirada antes de completar a fase III, pois a cana necessitou ser colhida em razão da programação da usina. O valor médio de K_c foi de 0,77, ficando abaixo do observado por Silva et al. (2012a) com valor de 1,43 e abaixo do valor FAO 56 de 1,25. O valor médio da E_{To} foi de $5,1 \text{ mm d}^{-1}$ e da E_{TcBERB} foi de $3,9 \text{ mmd}^{-1}$; grande parte desta fase ocorreu durante a época de chuvas no litoral, o que acarreta menor disponibilidade energética e, conseqüentemente, diminuição da demanda evapotranspirativa da cultura.

Trabalhando com cana-de-açúcar em Capim-PB, Silva et al. (2012b) determinaram com o balanço hídrico da água no solo, os valores de Kc de 0,56; 1,43 e 1,32 enquanto na determinação do Kc simples obtiveram 0,4; 1,31 e 1,06; na determinação do Kc dual obtiveram 0,56; 1,34 e 1,16; para as fases inicial, média e final, respectivamente, destacando que esses valores foram superiores aos recomendados pela FAO56 e sugeriram que o Kc dual seria mais preciso na determinação de valores diários ou estacionais da evapotranspiração da cultura, quando comparado ao Kc simples; esse autores obtiveram valores de ETc para os respectivos métodos de determinação do Kc de 4,30; 4,16 e 4,47 mmd^{-1} , valores um pouco superiores à média obtida neste experimento, de 3,7 mmd^{-1} .

Albuquerque (2012) obteve ETc de 4,16 mmd^{-1} para cana-de-açúcar cv RB92579 irrigada com 100% da ETo, em Capim-PB e sugeriu que o Kc determinado pela metodologia do Kc dual, poderia reduzir o uso da água proporcionando redução no custo de produção e aumento na eficiência do referido insumo. Valores de Kc foram obtidos para as fases inicial, média e final de 0,31; 1,35 e 1,15 no segundo cultivo, comparado com os valores obtidos nesta pesquisa observou-se, na fase inicial, que o valor ficou abaixo e que na fase média ficou acima. Santos et al.(2009b) obtiveram valores de Kc para a fase inicial entre 0,24 e 1,15, para a cana na condição de sequeiro em tabuleiro costeiro alagoano. Essas variações podem decorrer do balanço de água no solo, dos tratos culturais e da adaptabilidade da cultivar ao ambiente sugerindo a validação local na determinação do referido parâmetro. Lyra et. al., (2012) ressaltaram a necessidade de se considerar as características edafoclimáticas de determinado local e época do ano, tal como práticas de cultivo e características varietais, concluíram que o método analítico do boletim FAO56 representaria adequadamente as diferenças entre texturas de solo e as variações de $K_{c_{inicial}}$, com maiores valores em solos de textura fina em relação aos de textura grossa, em razão da capacidade de armazenamento de água, o que proporcionaria uma duração maior da fase I; comportamento similar foi relatado por Soares et. al., (2001) e observações nesta linha foram realizadas por Allen et. al., (2005a) em três solos de diferentes texturas e destacaram o mesmo comportamento.

Em pesquisa realizada na Califórnia-EUA, Allen et al., (2005b) concluíram que variações de ET_c e K_c ocorreriam em razão da disponibilidade de água e do manejo da cultura, clima, que impossibilitariam a transferência pura e simples dos valores obtidos dos referidos parâmetros de uma localidade para outra.

Destaca-se que os valores de K_c recomendados pela FAO 56 são para condições subúmidas, com umidade relativa perto de 45% e velocidade dos ventos a 2 m de altura na faixa de 2 ms^{-1} , condição muito específica e que variações ocorrem em função do número de cortes, das variedades utilizadas e dos tratos culturais aplicados. O referido boletim sugere metodologia visando corrigir os valores de K_c obtidos para as fases I, III e IV da cana-de-açúcar, neste experimento foi realizado nas fases I e III, conforme apresentado na Figura 4.7.

O comportamento do K_c comparado com o K_{cFAO33} (Doorenbos & Kassam, 1994) ficou sempre abaixo dos valores sugeridos, de 30 a 60 DAC o sugerido é de 0,6 e o observado foi de 0,43, de 60 a 90 DAC o sugerido é 0,75 e o observado foi de 0,53, de 90 a 120 DAC o sugerido é 0,85 e o observado foi de 0,75, de 120 a 180 DAC o sugerido é 0,95 e o observado foi de 0,68, de 180 a 240 o sugerido é 1,10 e o observado foi de 0,71, de 240 a 317 DAC o sugerido é de 1,20 e o observado foi de 0,88.

Trabalhando com a estimativa do K_c diário de diversas culturas em um balanço hídrico agrícola, Gurski, Sousa e Armino (2013) identificaram que o comportamento do K_c diferente dos valores sugeridos pelas metodologias proposta pela FAO pode ocorrer, primeiro porque o K_c determinado localmente não é constante para cada estágio da cultura; os autores ainda destacaram que o agrupamento dos estágios de desenvolvimento da cultura proporcionaria erros, já que a cultura se modifica diariamente durante todo o ciclo e sugerem o ajuste local como alternativa na determinação do referido parâmetro.

5. CONCLUSÕES

A análise dos dados obtidos em experimento de campo ao longo do ciclo de produção da cana-de-açúcar em condições comerciais dos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, no período novembro/2011 a setembro/2012, permite chegar às seguintes conclusões:

1. Os valores médios da evapotranspiração da cultura pela razão de Bowen (ETcBERB) para cana-de-açúcar cv. RB92579, em condições comerciais de cultivo para as fases I e III, foram de 2,6 e 3,7 mmd^{-1} e o coeficiente médio de cultivo (Kc) foi de 0,429 e 0,767, nas respectivas fases. A condição ambiental com 99,28% dos dias observados com céu parcialmente nublado, sugere menor demanda hídrica;
2. As condições de temperatura foram adequadas ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura ao passo que a distribuição temporal da precipitação pluviométrica não atendeu à demanda, necessitando do uso de irrigação;
3. Os dados analisados apresentaram consistência física superior a 60%, possibilitando a realização do balanço de energia pela razão de Bowen;
4. Em termos médios percentuais em relação ao saldo de radiação, o calor latente ficou com 77,9%, o calor sensível com 9,2% e o fluxo de calor do solo com 1,8%;
5. A Evapotranspiração de referência (ETo) é influenciada pela condição de nebulosidade da região, impactando diretamente no valor do Kc, diminuindo a demanda hídrica da cultura

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi - RN**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2009.

ACOSTA, J. F., AZEVEDO, P. V., BEZERRA, J. R., **Partição dos componentes do balanço de energia na cultura do girassol irrigada**. Disponível em: <http://www.cbmet2010.com/anais/>. Acesso em: 16/06/2011.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESAs). **Plano estadual de recursos hídricos da Paraíba**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/perh/pdf/mapas.pdf>, Acessado em: 12/06/2014.

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

ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: Paranhos, S. B. (org.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.42-55, 1987.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; RAES, D.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S. Estimating evaporation from bare soil and the crop coefficient for the initial period using common soils information. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v. 14, n. 1, p. 14-23, 2005a.

ALLEN, R. G.; CLEMMENS, A. J.; BURT, C. M.; SOLOMON, K.; O'HALLORANS, T. Prediction Accuracy for Projectwide Evapotranspiration Using Crop Coefficients and Reference Evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v. 131, n. 1, p. 24-36, 2005B.

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

ANDRÉ, R. G. B. & VISWANADHAM, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.30, p.157-173, 1983.

ANDRÉ, R. G. B., MENDONÇA, J. C., PINHEIRO, F. M. A., MARQUES, V. da S.; MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 2: Balanço de energia e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.4, 535 - 542, 2010a.

ANDRÉ, R.G.B; MENDONÇA, J.C.; PINHEIRO, F.M.A.; MARQUES, V. S. 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. 2010b.

ARAÚJO NETO, R. A. de, Métodos para determinar a evapotranspiração real da cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo-AL. 2013.

ASSUNÇÃO, H. F.; ESCOBEDO, J. F. Estimativa da exigência hídrica do amendoim usando modelo agrometeorológico. **Irriga**, v. 14, n. 3, p. 325-335, 2009.

AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2002.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v.58, n.1, p.241-254, 2003.

AZEVEDO, P. V.; SOUSA, I. F.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water use efficiency of dwarf-green coconut (*cocos nucifera L.*) orchards in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v.1, n.84, p.259-264, 2006.

AZEVEDO, P. V. de; SOUSA, C. B.; SILVA, B. B. da; SILVA, V. de P. R. da. Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment, Brazil. **Agricultural Water Management**, v.88, p.201-208, 2007

AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F. Avaliação dos componentes do balanço de radiação na cana-de-açúcar cultivada nos tabuleiros costeiros do estado da Paraíba. In: Brazilian Meeting on irrigation engineering, II & Brazilian Symposium on salinity, II, 2014, Fortaleza. **Anais..** Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a265>. Acesso em: 30 de jul. de 2014.

BERNARDO, S., SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**, Viçosa-MG: Ed. UFV, 2006. 625p.

BERNARDO, S. **Manejo da irrigação em cana-de-açúcar**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3jlwle6b8.pdf. Acesso em: 01/08/2013.

BEZERRA, J. R. C. **Crescimento, desenvolvimento e rentabilidade do algodoeiro BRS 200 – marrom, irrigado**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2007.

BEZERRA, J. R. C., AZEVEDO, P. V., SILVA, B. B. da, DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BR-200 marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p. 625-632, 2010.

BEZERRA, B. G., SILVA, B. B. da, BEZERRA, J. R. C., SOFIATTI, V., SANTOS, C. A. C. dos. Evapotranspiration and crop coefficient for sprinkler-irrigated cotton crop in Apodi Plateau semiarid lands of Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 107, p.86-93, 2012.

BORGES, C. J. R., SILVA, V. de P. R., FARIAS, C. H. de, AZEVEDO, P. V. de, ALBUQUERQUE, W. G. **Evapotranspiração da cana-de-açúcar em Tabuleiro costeiro paraibano usando a Razão de Bowen**: Estudo preliminar. XVI Congresso brasileiro de meteorologia, Belém-PA, 2010.

CARMO, J. F. A. do, 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, Juazeiro-BA. 2013.

CARTER, C. E., FOUSS, J. L., MCDANIEL, V. **Water management increases sugarcane yields**. ASAE Pap. 31 (2), 503–507, 1988.

CARVALHO, C. M., AZEVEDO, H. M., DANTAS NETO, J., FARIAS, C. H. A., SILVA, C. T. S., GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 1, p. 72-77, 2009.

CASAGRANDE, F. **Probabilidade de atendimento da demanda hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (Saccharum SP) em Rio Largo-AL**. Dissertação (Mestrado em agronomia), Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo-AL. 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento de safra brasileira : cana-de-açúcar, terceiro levantamento, abril/2013**. Brasília. 2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_30_34_bol_etim_cana_portugues_abril_2013_4o_lev.pdf. Acesso em: 02/08/2013.

CUNHA, R. G.; ASSAD, E. D. Uma visão geral sobre zoneamento agrícola Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, (n. Especial: Zoneamento Agrícola) p.377-385, 2001.

DANTAS NETO, J., FIGUEIREDO, J. L. da, FARIAS, C. H. A. de, AZEVEDO, H. M. de; AZEVEDO, C. A. V. de. Respostas de 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.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 28, n.3, p. 516-524, 2008.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, (FAO Irrigation and drainage paper, 24), 144p, 1977.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 306p, 1979. (**Irrigation and Drainage Paper 33**).

EPE: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2008: Ano base 2007** – Rio de Janeiro: EPE, 244p, 2008.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E.N.; OLIVEIRA, A.P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, v.86, p.299-309, 2009.

ESTEVEES, B. dos S.; SOUSA, E. F. de; MENDONÇA, J. C.; LOUSADA, L. de L.; MUNIZ, R. de A.; SIQUEIRA, D. P. Albedo da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 17, 2011, Guarapari - ES. Anais...Guarapari: SBAGRO, 2011.

ESTEVEES, B. dos S.; SOUZA, E. F. de; MENDONÇA, J. C.; LOUSADA, L. L. de; MUNIZ, R. de A.; MARCIANO, C. R.; SIQUEIRA, D. P. Desenvolvimento e balanço de energia da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Interciencia**, v.37, n. 6, p. 438-443, 2012a.

ESTEVEES, B. dos S.; SOUZA, E. F. de; MENDONÇA, J. C.; LOUSADA, L. L. de; MUNIZ, SILVA, R. M. da. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.4, p.663-670, 2012b.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 360p, 2000.

FARIAS, C. H. de A. **Desenvolvimento morfofisiológico da cana-de-açúcar em regime irrigado e sequeiro na Zona da Mata Paraibana**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2001.

FARIAS, C. H. de A. **Otimização do uso da água e do zinco na cana-de-açúcar em tabuleiro costeiro Paraibano**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2006.

FERREIRA JÚNIOR, R. A., SOUZA, J.L., LYRA, G. B., TEODORO, I., SANTOS, M. A. dos; PORFIRIO, 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.

GARCÊZ, S. L. A. **Métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar em condições de sequeiro**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2013.

GOMES, A. R. A.; SÁ, L. A.; LIMA, R. A. S.; MOURA, A. B.; OLIVEIRA, F. J. A.; MAIA, A. V. V. S.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; BARBOSA, G. V. S.; LYRA, G. B. **Balanço Hídrico e Produtividade da Cana-de-açúcar em Cultivo de Sequeiro**. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XVI., 2010, Belém-PA. **Amazônia e o clima global**. Disponível em: http://cbmet2010.web437.uni5.net/anais/artigos/96_22653.pdf. Acesso em: 06/08/2014.

GOUVEIA NETO, G. da C. **Rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar sob suplementação hídrica e parcelamento de nitrogênio**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2012.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. João Pessoa: UFPB, 1985. 99p.

GURSKI, B. C., SOUZA, J. L. M. & ARMINDO, R. A. **Estimativa do coeficiente de cultivo diário de diversas culturas em um balanço hídrico agrícola**. Disponível em: http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/re_2013_cbcs_2.pdf. Acesso em: 23/09/2014.

HARGREAVES. G. H. **Pontential evapotranspiration and irrigation requirements for northeast Brazil**. Logan: Utah State University, 55 p, 1974.

HEILMAN, J.L.; MCLNNES, K.J.; SAVAGE, M.J.; GESH, R.W.; LASCANO, R.J. Soil and canopy energy balance in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.71, p.99 - 114, 1994.

HILLEL, D. **Solo e água: Fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1970. 231p.

HOWELL, T. A.; CUENCA, R. H.; SOLOMON, K. H. Crop yield response. In: Hoffman, G. J.; Howell, T.A.; Solomon, K.H. (org.) **Management at farm irrigation systems**. St. Joseph: The American Society of Agricultural Engineers, p.93-122, 1990.

HURST, C. A.; THORBURN, P. J., LOCKINGTON, D.; BRISTOW, K. L. Sugarcane water use from shallow water tables: implications for improving irrigation water use efficiency. **Agricultural Water Management**. v. 65 (1), p. 1-19, 2004.

IBGE (2013). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Estatística da produção Agrícola – janeiro de 2013**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 17/12/2013.

ICIDCA. **The industry of the derivatives of the sugar cane**. Havana: Scientific Technical Editorial; 1986.

INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Dry partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, v. 76, p. 71-84, 2002.

INMAN-BAMBER, N. G.; MCGLINCHEY, M. G. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, v. 83, p. 125–138, 2003.

LEITÃO, M. de M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M de. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.214-218, 2000.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOARES, W.A.; BORGES, E.; SILVA, I.F.; LIRA, C.A.B.O. Balanço de energia em um solo cultivado com feijão caupi no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.527-534, 2005.

LIMA, R. A. S.; GOMES, A. R. A.; SÁ, L. A.; BRITO, K. S.; SILVA, M. da; HOLANDA, L. A.; SAMPAIO NETO, G. D.; BARBOSA, G. V. S.; LYRA, G. B.; SAMPAIO FILHO, F. **Avaliação de Elementos Agrometeorológicos e**

Produtividade de Cana-de-Açúcar. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XVI., 2010, Belém-PA. **Amazônia e o clima global.** Disponível em: http://cbmet2010.web437.uni5.net/anais/artigos/356_48198.pdf. Acesso em: 06/08/2014.

LIU, D.L.; KINGSTON, G.; BULL, T. A. A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including suboptimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.90, p.119-139, 1998.

LYRA, G. B.; SILVEIRA, E. L.; LYRA, G. B. PEREIRA, C. R.; SILVA, L. D. B.; SILVA, G. M. da. Coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial de desenvolvimento em Campos dos Goytacazes, RJ. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 102-113, 2012.

MEDINA, J. L.; CAMARGO. E.; RECA, J.; LÓPEZ, R.; ROLDÁN, J. Determination an analysis of regional evapotranspiration in southern Spain don remote sensing and Gis. **Physics and Chemistry of the Earth**. v. 23, n. 4, p.427-432, 1998.

MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; GURGEL, M. T.; SILVA, T. G. F. **Balanco de energia na cana-de-açucar irrigada no Submédio São Francisco.** In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 27., 2007, Mossoró-RN. **Agricultura irrigada no semi-árido: anais. Mossoró: ABID: Governo do Estado do Rio Grande do Norte, 2007.** Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1481.pdf. Acesso em: 16/06/2011.

OLIVEIRA, E. P.; SOBRINHO, J. B. S.; NEGREIROS, J. C.; AMAZONAS, L.; ALMEIDA, M. B. A; SILVEIRA, P. S.; ANDRADE, R. A.; PIFFER, T. R. O.; TEIXEIRA, W. S. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2007/2008, segundo levantamento, agosto/2007** - Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2007. 12p.

OLIVEIRA, I.A.; LIMA, J.R.S.; SILVA, I.F.; ANTONINO, A.C.D.; NETO, G.C.G.; LIRA, C.A.B.O. Balanco de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.4, n.2, p.185-191, 2009.

OLIVEIRA, F. da S. **Balanço de energia em cana-de-açúcar na região dos tabuleiros costeiros paraibano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2012.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ed Agronômica Ceres, 1981. Cap.12, p.255. Cap.13, p.319.

ORTEGA-FARIAS, S. O.; CUENCA, R. H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.81, p.131-143, 1996.

PAYERO, J. O.; NEALE, C. M. U.; WRIGHT, J. L.; ALLEN, R. G. Guidelines for validating Bowen ration data. **Transactions of the ASAE**. Vol. 46(4): 1051–1060, 2003.

PEREZ, P.J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; ROSELL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97, n.3, p.141-50, 1999.

PORTAL SÃO FRANCISCO. Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/cana-de-acucar/cana-de-acucar.php>. Acesso em: 06/06/2013.

PLANO TERRITORIAL DE DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL – PTDRS. **Território da zona da mata norte – PB. Resumo executivo 2010 – 2020**. Disponível em: http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_qua_territorio103.pdf. Acesso em: 08/08/2013.

Procana Brasil. **Números do setor sucroenergético**, Disponível em: <http://www.jornalcana.com.br/noticia/ProCana-Brasil/44467+NUMEROS-DO-SETOR-SUCROENERGETICO>. Acesso em: 13/12/13.

RIDESA. REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROENERGÉTICO. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar, Curitiba, 2010.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Universidade estadual paulista. Instituto de biociências. Campus de Botucatu. 1995. Disponível em: <http://www.malavolta.com.br/pdf/1071.pdf>. Acesso em: 19/08/2013.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate: the biological environment**. 2^o., ed. Boston: Awiley- Interscience, 495p. 1983.

SÁ, L. A.; GOMES, A. R. A.; LIMA, R. A. S.; SANTOS, M. A. L.; ROCHA, A. E. Q.; SARMENTO, P. L. V. S.; HOLANDA, L. A.; BARBOSA, G. V. S.; TEODORO, I.; Dantas Neto, J. **Análise Agrometeorológica e Eficiência do Uso da Água Pela Cultura da Cana-de-açúcar**. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XVI., 2010, Belém-PA. **Amazônia e o clima global**. Disponível em: http://cbmet2010.web437.uni5.net/anais/artigos/537_29508.pdf
Acesso em: 06/08/2014.

SANIJ, D. H., YAMAMOTO, T.; RASIAH, V. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. **Agricultural Water Management**, v. 64, p.91-106, 2004.

SANTOS, M. A. L. dos. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (Saccharum spp): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**, Tese (Doutorado em Agronomia – irrigação e drenagem), Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. 2005.

SANTOS, V. R. dos; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W. de; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G. dos; SANTOS, A. C. I. dos. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.389–396, 2009a.

SANTOS, V. R. dos; LYRA, G. B.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L. de; SEDIYAMA, G. C. Coeficiente da cultura no estágio inicial de desenvolvimento para cana-de-açúcar em diferentes datas de plantio na região de tabuleiros costeiros de Alagoas. **STAB – Açúcar, Alcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 27, n. 6, 2009b.

SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G. Modelo matemático para determinação da curva do coeficiente de cultura, kc. **Engenharia na Agricultura**, v.12, n.2, 124-133, 2004.

SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização da produção de Cana-de - Açúcar**, Piracicaba: CP2: 2006, 415p.

SILVA, A. B. **Resposta da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes níveis de adubação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2002.

SILVA, L. D. B. **Evapotranspiração de capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**, Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e drenagem), Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.

SILVA, M. C. L. da, BRITO, J. I. B. & COSTA, A. M. N. Proposta de monitoramento da precipitação pluvial no estado da Paraíba utilizando a técnica dos quantis. In Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza: SBMET, 2004. Disponível em: <http://www.cbmet.com/index.php>. Acesso em: 11/06/2014.

SILVA, V. de P. R. da. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.58, p.575-596, 2004.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. Surface Energy Fluxes and Evapotranspiration of a Mango Orchard Grown in a Semiarid Environment. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 1391-1396, 2007.

SILVA, T. A., FOLEGATTI, M. V., SILVA, C. R., ALVES JÚNIOR, J., SILVA, E. M. B. Balanço de energia e estimativa da evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo método da razão de Bowen. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.392-403, 2007.

SILVA, V. P. R; CAMPOS, J. H. B. C.; AZEVEDO, P. V. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 102, p. 467-472, 2009.

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

SILVA, B. K. N; SILVA, V.P.R; AZEVEDO, P.V; FARIAS, C. H. A. Análise de sensibilidade dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e

razão de Bowen em cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1046–1053, 2011a.

SILVA, T. G. F. da, MOURA, M. S. B. de, ZOLNIER, S., SOARES, J. M., SOUZA, L. S. B.; BRANDÃO, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p. 139-147, 2011b.

SILVA, T. G. F. da, MOURA, M. S. B. de, ZOLNIER, S., SOARES, J. M., VIEIRA, V. J. de S., GOMES JÚNIOR, W. F. 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, 2012a.

SILVA, V. de P. R., BORGES, C. J., FARIAS, C. H. A., SINGH, V. P., ALBUQUERQUE, W. G. & SILVA, B. B. da. Water requirements and single and dual crop coefficients of sugarcane grown in a tropical region, Brazil. **Agricultural Sciences**, v. 3, n. 2, p. 274-286, 2012b.

SILVA, V. de P. R., SILVA, B. B., ALBUQUERQUE, W. G., BORGES, C. J. R. SOUSA, I. F. & DANTAS NETO, J. Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 128, p.102-109, 2013.

SOARES, W. R.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento (Kcini) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.23-27, 2001.

SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 400-407, 2008.

TODD, R.W.; EVETT, S.R.; HOWELL, T.A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, p.335-348, 2000.

TOLEDO FILHO, M. da R. **Estado micrometeorológico de um cultivo de cana-de-açúcar em Alagoas**, Tese (Doutorado em Fitotecnia –

agrometeorologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 2001.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO (ÚNICA) –. Disponível em: <http://www.unica.com.br>. Acesso em: 16/06/2011.

VARELA, A. C. G. **Análise do comportamento morfofisiológico da cana-de-açúcar irrigada (variedades SP 791011 e SP 716949), nos Tabuleiros Costeiros Paraibanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2002.

VERMA, S. B., ROSENBERG, N. J. AND BLAD, B. L. Turbulent Exchange Coefficients for Sensible Heat and Water Vapor under Advective Conditions **Journal of Applied Meteorology**. v. 17, n. 3, pp. 330-338, 1978.

VIANELO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Imp. Universitária-UFV, 1991.

WATANABE, K., YAMAMOTO, T., YAMADA, T., SAKURATANI, T., NAWATA, E., NOICHANA, C., SRIBUTTA, A. & HIGUCHI, H. Changes in seasonal evapotranspiration, soil water content, and crop coefficients in sugarcane, cassava, and maize fields in Northeast Thailand. **Agricultural Water Management**, v. 67, p.133-143, 2004.

WEI, Y.; SADO, K. **Estimation of a real evapotranspiration using Landsat TM data alone**. In: 5th Asian Conference on remote Sensing, 1994, Bangalore, India.

WHITE, I.; MELVILLE, M. D.; WILSON, B. **Understanding acid sulfate soils in canelands**. In: Proceedings of National Conference on Acid Sulfate Soils, Coolangatta, NSW, June 24–25. CSIRO, NSW Agriculture, Tweed Shire Council, pp. 130–148, 1993.

WILSON, B. P., WHITE, I., MELVILLE, M. D. **Floodplain hydrology, acid discharge and change in water quality associated with a drained acid sulfate soil**. Mar. Freshw. Res. 50, 149–157, 1999.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; Ambrosano, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p.621-633, 2000.