

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

JOACY FONSÊCA NETO

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO SORGO EM
CULTIVO IRRIGADO NA REGIÃO DO BAIXO AÇU-RN.**

MOSSORÓ - RN

2013

JOACY FONSECA NETO

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO SORGO EM
CULTIVO IRRIGADO NA REGIÃO DO BAIXO AÇU-RN.**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre
em Irrigação e Drenagem.

ORIENTADOR: Prof. D.Sc. Vladimir Batista Figueirêdo

MOSSORÓ – RN
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)

Setor de Informação e Referência

F676e Fonseca Neto, Joacy.

Evapotranspiração, crescimento e produção do sorgo em cultivo irrigado na região do baixo açu-RN. / Joacy Fonseca Neto. -- Mossoró, 2014

87f.: il.

Orientador: Prof. Me. Vladimir Batista Figueirêdo.

Dissertação (Pós-graduação em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação.

1. Irrigação. 2. Lisímetro de pesagem. 3. Produtividade. 4. *Sorghum bicolor* Moench. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT

CDD: 631.587

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB-15/120

JOACY FONSÊCA NETO

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO SORGO EM
CULTIVO IRRIGADO NA REGIÃO DO BAIXO AÇU-RN.**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre
em Irrigação e Drenagem.

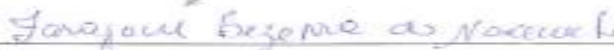
APROVADA EM: 21/12/2013



Prof. D.Sc. Vladimir Batista Figueiredo – UFERSA
Orientador



Prof. D.Sc. José Francismar de Medeiros – UFERSA
Conselheiro interno



Prof. D.Sc. Iarajane Bezerra do Nascimento – PMAB
Conselheira externa

AGRADECIMENTOS

Ao Criador, pela dádiva da vida e por sempre ter me dado força em todos os momentos da minha vida e também pela conclusão do mestrado em irrigação e drenagem;

A minha família Ivan Fonsêca, Rosa Maria, Rayssa Fonsêca e Aldenize Vieira, pela confiança e apoio, durante os momentos mais difíceis desta jornada;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da UFERSA, pelos conhecimentos repassados e por terem contribuído para minha formação profissional;

A FINEP, Projeto RECLIM pelo apoio na execução do projeto;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

Ao meu orientador, professor Vladimir Batista Figueirêdo, pela compreensão, empenho, acompanhamento, paciência, amizade e pela orientação para a realização deste trabalho;

Aos professores José Francismar de Medeiros e José Espínola Sobrinho, pela confiança, acompanhamento e ensinamentos valiosos, os quais foram tão importantes para a minha vida profissional;

A todas as pessoas da EMPARN que me ajudaram na condução do experimento, em especial para Neginho, Daiane e Rufo Ronney;

Aos amigos do Mestrado em Irrigação e Drenagem da UFERSA, que ao longo do experimento, sempre estiveram à disposição para me ajudar, como João Guilherme, Wesley de Oliveira, Paula Carneiro, Edmilson, Aline da Silva e Rozana;

A todos os colegas da UFERSA que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

NETO, Joacy Fonsêca. **Evapotranspiração, crescimento e produção do sorgo em cultivo irrigado na região do baixo Açu-RN**. 2013. 87f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2013.

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) no contexto da agropecuária do semiárido nordestino vem se destacando a cada dia, por apresentar maiores possibilidades de solucionar o problema da carência de fonte energética dessa região, em virtude da alta produtividade, boa adequação a mecanização, resistência às estiagens, menor exigência de solo e, consequentemente, menores riscos e maior receita líquida, sendo uma alternativa à cultura do milho, que possui maior exigência em relação ao sorgo. A região do semiárido brasileiro caracteriza-se pela escassez de água, tornando indispensável uso da irrigação, para que a maioria das culturas possa produzir satisfatoriamente. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c) e o coeficiente da cultura (K_c) para os diferentes estádios de desenvolvimento do sorgo de dupla aptidão (forrageiro e grânífero) denominada BRS – Ponta Negra, como também avaliar o crescimento, desenvolvimento e produção em cultivo irrigado sob as condições climáticas do município de Ipanguaçu/RN. O trabalho foi conduzido na área experimental da EMPARN, sendo a irrigação utilizada por aspersão e cultivada em fileiras simples espaçadas 0,75 m entre linhas e 0,10 m entre plantas. A medição da ET_c foi realizada utilizando-se dois lisímetros de pesagem idênticos, com área útil de 2,7 m² (dimensões de 1,5 x 1,8 m de área e 0,9 m de profundidade). A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelo método Penman-Monteith FAO e os dados climáticos necessários para estimar foram coletados por uma estação meteorológica automática instalada na área entre os dois lisímetros. O ciclo total da cultura do Sorgo Ponta Negra foi de 96 dias, com uma evapotranspiração de 499,89 mm. Os coeficientes da cultura (K_c) encontrados foram (fase I - 0,49; fase II – 0,82; fase III – 1,13; fase IV – 0,98) com duração das fases de 21, 36, 27 e 12 dias, respectivamente. A matéria fresca foi de 84,42 ton ha⁻¹, enquanto que a produtividade em grãos encontrada foi de 8.72 ton ha⁻¹ e da matéria seca de 35,9 ton ha⁻¹.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* Moench, irrigação, lisímetro de pesagem, produtividade.

ABSTRACT

NETO, Joacy Fonsêca. **Evapotranspiration, growth and yield of sorghum under irrigated cultivation in the Açu-RN valley region.** 2013. 87f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2013.

The sorghum crop (*Sorghum bicolor* L. Moench) in the context of agriculture in semiarid northeast has been outstanding every day, due to the higher very possibilities to solve the problem of shortage of energy source in this region, because of high productivity, good suitability for mechanization, resistance to drought, reduced requirement of soil and therefore fewer risks and higher net revenue, as an alternative to the corn crop which has more demanding compared to sorghum. The Brazilian semiarid region characterized by water scarcity, become indispensable use of irrigation for most crops can produce satisfactorily. Given the above, this study aimed to determine the crop evapotranspiration (ET_c) and crop coefficient (K_c) for different growth stages of sorghum dual purpose (forage and grain) called BRS - Ponta Negra, as well as evaluating the growth, development and production in irrigated under the climatic conditions of the city of Ipanguaçu/RN. The work was conducted in the experimental area of EMPARN irrigation sprinkler was used and grown in single rows spaced 0.75 m between rows and 0.10 m between plants. The measurement of ET_c was performed using two weighing lysimeters identical, with an area of 2.7 m² (dimensions of 1.5 x 1.8 m in area and 0.9 m deep). The reference evapotranspiration (ET_o) was estimated by the FAO Penman-Monteith method and necessary to estimate climate data were collected by an automatic meteorological station installed in the area between the two lysimeter. The total crop cycle Sorghum Ponta Negra was 96 days, with an evapotranspiration of 499.89 mm. The crop coefficients (K_c) were found (Phase I - 0.49; Phase II - 0.82, phase III - 1.13; Phase IV - 0.98) with length of time of 21, 36, 27 and 12 days, respectively. The fresh weight was 84.42 ton was ha⁻¹, while the productivity of grains found was 8,72 ton was ha⁻¹ and the dry matter of 35,9 ton was ha⁻¹.

Keywords: *Sorghum bicolor* L. Moench, irrigation, weighing lysimeters, productivity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características agronômicas da variedade BRS – Ponta Negra.	18
Tabela 2: Características químicas do solo, em Ipanguaçu/RN, 2012.	30
Tabela 3: Classificação dos valores do desempenho de sistema de irrigação por aspersão em função do CUC, CUD e CUE.	34
Tabela 4: Valores dos coeficientes de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997).	44
Tabela 5: Resultado e classificação da avaliação do sistema de irrigação para determinação do CUC, CUD e CUE.	52
Tabela 6: Valores médios da evapotranspiração da cultura (ET _c LIS), evapotranspiração de referência (ET _o), coeficiente de cultivo pelo lisímetro (K _c LIS) e pela FAO (K _c Dual) do sorgo irrigado nos seus diferentes estádios fenológicos, sob as condições de Ipanguaçu/RN, 2012.	68
Tabela 7: Indicadores estatísticos “I”, “d” e “c” para a ET _c medida pelos lisímetros e a ET _c estimada pela metodologia da FAO, em Ipanguaçu/RN, 2012.	70
Tabela 8: Número de dias e Graus-dia acumulado para cada fase fenológico da cultura do Sorgo BRS Ponta Negra, em Ipanguaçu/RN, 2012.	71
Tabela 9: Produtividade média do Sorgo BRS Ponta Negra, em Ipanguaçu/RN, 2012.	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do município de Ipanguaçu no Estado do Rio Grande do Norte.	29
Figura 2: Local onde foi instalado o experimento na Fazenda experimental da EMPARN, em Ipanguaçu/RN, 2012.	31
Figura 3: Área do lisímetro com as plantas após uma semana da semeadura, em Ipanguaçu/RN, 2012.	31
Figura 4: Avaliação de uniformidade de distribuição no sistema de irrigação por aspersão.	32
Figura 5: Sistema de irrigação por aspersão na área experimental, em Ipanguaçu/RN, 2012.	34
Figura 6: Estação meteorológica automática instalada na área experimental.	36
Figura 7: Datalogger utilizado para coleta de dados.	40
Figura 8: Sorgo Ponta Negra na área do lisímetro, em Ipanguaçu/RN, 2012.	41
Figura 9: Processo de instalação dos lisímetros. (A) escavação; (B) estrutura de alvenaria; (C) balança instalada; (D) caixa metálica; (E) preenchimento do lisímetro; e (F) posicionamento dos lisímetros instalados em campo.	43
Figura 10: Estádios fenológico da cultura do sorgo. (A) fase inicial; (B) fase desenvolvimento vegetativo; (C) período de floração e frutificação; (B) período de maturação.	50
Figura 11: A cultura do sorgo “Ponta Negra” aos 91 dias após o plantio, em Ipanguaçu/RN, 2012.	51
Figura 12: Avaliação de crescimento vegetativo da cultura do sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.	51
Figura 13: A cultura do sorgo Ponta Negra ao fim do ciclo, Ipanguaçu/RN, 2012.	52
Figura 14: Calibração dos dois lisímetros instalados na área experimental de Ipanguaçu/RN, 2012.	55
Figura 15: Variação de massa dos lisímetros 1 e 2 em resposta a ET _c do Sorgo entre os dias 30 e 02/10/2012, em Ipanguaçu/RN, 2012.	57
Figura 16: Variação de massa dos lisímetros 1 e 2 em resposta a irrigação no cultivo do Sorgo entre os dias 05 e 07/09/2012, em Ipanguaçu/RN, 2012.	57
Figura 17: Variação de massa dos lisímetros em resposta as perdas (ET _c) e aos ganhos de massa (irrigação) durante o ciclo do Sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.	58

Figura 18: Temperatura média, máxima e mínima diária durante o ciclo da cultura do sorgo entre o dia 31/08 a 04/12/12, em Ipanguaçu/RN, 2012.	59
Figura 19: Umidade relativa média, máxima e mínima diária durante o ciclo da cultura do sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.	60
Figura 20: Velocidade do vento média diária registrada durante o ciclo da cultura do sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.	61
Figura 21: Radiação global diária durante o ciclo da cultura do sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.	61
Figura 22: Variação da evapotranspiração da cultura medida (ETc Lis 1 e ETc Lis 2) e evapotranspiração de referência (ETo), observada durante o experimento do sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.	64
Figura 23: Variação da evapotranspiração da cultura média (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo), observada durante o ciclo da cultura, em Ipanguaçu/RN, 2012.	65
Figura 24: Evapotranspiração da cultura acumulada (ETc), observada durante o experimento, em Ipanguaçu/RN, 2012.	65
Figura 25: Variação do coeficiente da cultura (Kc) observada durante o ciclo vegetativo do Sorgo BRS Ponta Negra, em Ipanguaçu/RN, 2012.	67
Figura 26: Variação do coeficiente de cultivo medida pelo lisímetro e pelo Kc Dual da FAO recomendada, Ipanguaçu/RN, 2012.	69
Figura 27: Evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração da cultura medida (ETc LIS) e evapotranspiração da cultura estimada (ETc FAO) observada durante o ciclo do sorgo em, Ipanguaçu/RN, 2012.	70
Figura 28: Variação da altura de planta durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra, em Ipanguaçu/RN, 2012.	72
Figura 29: Variabilidade do número de folhas durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra na área experimental. Ipanguaçu/RN, 2012.	73
Figura 30: Variabilidade do diâmetro do caule durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra na área experimental. Ipanguaçu/RN, 2012.	73
Figura 31: Comportamento da matéria fresca durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra. Ipanguaçu/RN, 2012.	74
Figura 32: Comportamento da matéria seca durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra. Ipanguaçu/RN, 2012.	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 CULTURA DO SORGO	16
2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO	19
2.2.1 Evapotranspiração de referência (ET _o)	21
2.2.2 Evapotranspiração da cultura (ET _c)	22
2.2.3 Coeficiente da cultura (K _c)	23
2.2.4 Lisimetria	24
2.3 GRAUS DIAS ACUMULADOS	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 LOCALIZAÇÃO E ÁREA EXPERIMENTAL	28
3.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO	32
3.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET _o)	35
3.4 DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ET _c)	41
3.4.1 Lisímetro e sua instalação	41
3.4.2 Calibração dos lisímetros	43
3.4.3 Coeficiente da cultura (K _c)	44
3.5 COEFICIENTE DA CULTURA (K _c) ESTIMADO PELA METODOLOGIA DA FAO	44
3.5.1 Estimativa do coeficiente basal da cultura (K _{cb})	45
3.5.2 Estimativa do coeficiente de evaporação do solo (K _e)	46
3.6 COMPARAÇÃO ENTRE ET _c MEDIDA PELO LISÍMETRO E A ESTIMADA PELA METODOLOGIA FAO	49
3.7 GRAUS DIAS ACUMULADOS	49
3.8 ANÁLISES DE DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO DA PLANTA E PRODUTIVIDADES	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	52
4.2 CALIBRAÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS LISÍMETROS	53
4.3 DADOS CLIMÁTICOS	58
4.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET _o) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ET _c)	62

4.5 GRAUS DIAS ACUMULADOS	71
4.6 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO SORGO.....	71
5. CONCLUSÕES.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	86

1. INTRODUÇÃO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é considerado atualmente o quinto cereal mais produzido no mundo, depois do milho, trigo, arroz e cevada (FAO, 2012) obtendo uma produção mundial estimada em 2011 de 60,2 milhões de toneladas, em uma área de 44,4 milhões de hectares. É esperado que a produção mundial de sorgo alcance 64 milhões de toneladas em 2014 (FAO, 2012). Muitos países o utilizam como principal fonte de alimento. No Brasil, sua principal utilização está na alimentação animal, como alternativa ao milho para fabricação de rações, possibilitando uma redução no custo da produção (RODRIGUES, 2010).

O Nordeste brasileiro compreende uma área de 1.548.672 km², da qual 52% correspondem a região semiárida, com secas periódicas que afetam sua estrutura social e econômica (LIRA et al., 1989). O Rio Grande do Norte apresenta seu território em quase sua totalidade inserida na região semiárida, onde a produção de alimentos volumosos é tida como modesta e sazonal devido às condições edafoclimáticas desfavoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento da maioria das culturas, principalmente, no que se relaciona com a escassez e má distribuição de chuvas e às características inerentes ao tipo de solo, os quais são, em grande parte, rasos e com excesso de sais.

No entanto, é importante ressaltar que a falta de alimento para os rebanhos no semiárido nordestino tem, de certo modo, motivado criadores a investirem na produção de forragem de melhor qualidade, tendo o sorgo irrigado despontado como uma alternativa desejável, por ser uma gramínea que possui tolerância a períodos de estiagem durante seu ciclo vital e produz colheitas de grãos e massa verdes economicamente compensadoras, em condições de pluviosidade baixa ou instável, até mesmo em solos de má qualidade (MAGNAVACA et al., 1987).

A irrigação tem demonstrado ser uma das alternativas para o desenvolvimento socioeconômico dessa região. No entanto, ela deve ser manejada racionalmente, a fim de evitar problemas de salinização dos solos e de degradação dos recursos hídricos e edáficos, uma vez que as condições climáticas dessas regiões são extremamente favoráveis à ocorrência desses problemas.

A utilização eficiente da água está se tornando cada vez mais importante devido à escassez de recursos hídricos na região e ao elevado custo da energia, o que torna cada vez mais necessário o uso de metodologias apropriadas ao manejo racional do uso da água.

Para manejar corretamente uma cultura deve-se determinar com precisão suas necessidades hídricas, e para tal, tem que se considerar que o clima, as características da cultura, o manejo e o meio de desenvolvimento são fatores que afetam a evaporação e a transpiração, que somadas são chamadas de evapotranspiração. Quando se pensa em irrigar, planeja-se repor as perdas ocorridas na cultura através da evapotranspiração da mesma (ET_c).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) pode ser determinada por métodos diretos e indiretos, sendo que os mais utilizados os métodos indiretos, que são as equações e evaporímetros. Os métodos diretos como os lisímetros são mais utilizados em instituição de pesquisas por apresentar custo elevado, sendo sua utilização justificada pela possibilidade da obtenção de medidas precisas e exatas que sirvam de referência na calibração dos métodos de estimativas da ET_c utilizados pelos irrigantes. Na ausência de equipamentos de medidas da ET_c, os pesquisadores e irrigantes, utilizam-se de estimativas baseadas na evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente da cultura (K_c), que é o indicativo da necessidade de água da cultura, em cada estágio de desenvolvimento.

Os dados de K_c apresentados na literatura podem servir de referencial, quando na região onde está instalada a cultura, não existirem dados de estudos determinados na região local. No entanto, a estimativa do K_c, para as condições reais da área onde está implantada a cultura, é desejável devido às variabilidades climáticas e diferentes práticas agronômicas (cobertura morta, etc.) adotadas em cada região. O K_c é variável de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, condições de solo e clima locais e da frequência de chuva e de irrigação. Embora existam dados de K_c para sorgo na literatura (ALLEN et al., 2006), nem sempre esses valores publicados se ajustam às condições locais, sendo que o uso de K_c obtidos de outra região pode ocasionar erros consideráveis na estimativa do consumo hídrico da cultura, considerando os fatos apresentados e estudos.

O sorgo vem sendo cultivada pelos produtores do Rio Grande do Norte, no período chuvoso, como também, sob irrigação no período estiagem. Por ser uma cultura cultivada pelos pequenos e médios produtores que se utilizam de baixa tecnologia, para o atendimento da demanda da pecuária da região, há poucos estudos para o manejo da irrigação, sendo imprescindível um estudo para a região, outorgando o uso da água, em

uma região que sofre tanta escassez de água, conseqüentemente, a falta de alimento para o rebanho.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi a de estimar a evapotranspiração e o coeficiente da cultura (K_c) nas diferentes fases fenológicas da cultura do sorgo de dupla aptidão (sorgo forrageiro e granífero) denominada BRS Ponta Negra para as condições edafoclimáticas da região do Baixo Açu, RN, bem como determinar o crescimento, desenvolvimento e produção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DO SORGO

O sorgo é uma planta da família poacea, do gênero *sorghum*, e da espécie *Sorghum bicolor* L. Moench é uma planta autógama, com baixa taxa de fecundação cruzada, apresenta metabolismo C4, é uma gramínea originária da região central do continente africano. É uma cultura muito antiga cultivada muito antes da era cristã. Foi domesticado, provavelmente, na Etiópia, há cerca de 5 a 6 mil anos e em seguida foi cultivada na África ocidental, desde o Sudão até o rio Níger (FERNANDES, 1981). É uma gramínea anual, típica de clima quente, de baixa exigência quanto à fertilidade do solo e tolerante/resistente aos fatores abióticos, tais como: o estresse hídrico, a salinidade e o encharcamento (TABOSA, 1987).

Essa resistência/tolerância a fatores abióticos é devido a características morfofisiológicas do sistema radicular e da parte aérea dos diferentes genótipos de sorgo. O sistema radicular é compostas de raízes finas e ramificadas com desenvolvimento subsuperficial, o qual permite que a planta absorva uma maior quantidade de água em um mesmo volume de solo. O acúmulo de água em maior quantidade nas raízes, colmos e bainhas do que nas folhas, juntamente com uma camada espessa de cera que recobre a epiderme das folhas (cutina), colaboram para uma menor taxa de transpiração e desidratação e maior tolerância ao estresse hídrico. A tolerância à seca é diferenciada conforme o genótipo, dentro da mesma espécie vegetal. Assim, diferentes materiais genéticos de uma mesma espécie podem responder de maneiras distintas ao estresse hídrico (SILVA, 2011).

A planta de sorgo possui características fisiológicas que permitem parar o seu crescimento e reduzir suas atividades metabólicas durante o período de estresse hídrico, sendo capaz de reiniciar seu crescimento e aumentar suas atividades metabólicas logo que a água se tornar disponível (MASOJIDEK et al., 1991). Provavelmente, no início do estresse hídrico a planta acumula fotoassimilados, os quais podem induzir a um nível mais acelerado de crescimento após o término do estresse (DONATELLI et al., 1992).

Segundo a Wisconsin Corn Agronomy (2001), citados por Silva (2003), para alcançar altas produtividades, o sorgo requer dias e noites quentes, com temperaturas

médias acima de 25°C, atingindo a maturidade entre 90 e 140 dias. É uma espécie indicada para regiões que apresentam regime hídrico desfavorável com precipitações variando de 400 a 600 mm por ano ou menos. Em regiões isenta de geada o sorgo comporta-se como uma cultura semiperene. Esta característica permite duas ou mais colheitas em um só plantio, podendo aumentar a quantidade de material verde produzido (SWERINGIN et al., 1971), dependendo das condições edafoclimáticas, da disponibilidade mínima de água e dos níveis da adubação de reposição.

Assim, o sorgo pode ser cultivado em zonas áridas e semiáridas, tornando-se um alimento básico, visto que apresenta: elevado potencial de produção, reconhecida qualificação como fonte de energia para arração animal, grande versatilidade (silagem, feno e pastejo direto) e potencial de adaptação a regiões mais secas, com boa produtividade de grãos e altos teores de açúcares no caldo do colmo (SILVA et al., 2004). Além disso, possui elevada saturação alumínica e maior tolerância à salinidade, adequando-se com as especificidades do bioma caatinga (HAMMER; BROAD, 2003).

A produção brasileira de sorgo na safra 2012/2013 foi estimada em 2,1 milhões de toneladas. Cabe destacar que esta produção é 9,4% menor que os 2,3 milhões de toneladas da safra 2010/11, fato que ocorreu devido à estiagem que assolou a região Nordeste (CONAB, 2013). Sendo que uma grande parte do seu cultivo está inserida dentro do polígono das secas caracterizado pela escassez de água, por apresentar altas temperaturas durante todo ano e, aliado a isso, o sistema pluviométrico é caracterizado por apresentar grande variabilidade e irregularidade, no tempo e no espaço, resultando em grande evapotranspiração e um balanço hídrico negativo, ocasionado uma redução de 95% da produção no Estado do Rio Grande do Norte, o que demonstra a importância da irrigação para região.

O sorgo, quando comparado ao milho, é mais tolerante a altas temperaturas, mais eficiente na absorção de água e nutrientes do solo e suporta muito melhor situação de déficit hídrico. Em termos médios, o sorgo produz bem com 350 mm de chuva durante o ciclo da cultura enquanto o milho necessita 600 mm (BLUM, 1974). Dogget (1970), afirma que o sorgo para produzir grãos requer cerca de 25 mm de chuva após o plantio, 250 mm durante o crescimento e 25 a 50 mm durante a maturidade. O sorgo em relação ao milho produz mais sobre estresse hídrico, sua raiz tem maior capacidade de explorar o perfil do solo, tem maior capacidade de se recuperar por um tempo maior de murchas. O sorgo pode substituir o milho para silagem, devido ao cultivo mais fácil, menor gasto com sementes,

menor custo de produção, alta produtividade, aproveitamento da rebrota, com produção de até 60% do primeiro corte, além da forragem produzida ter valor nutritivo equivalente em 85 a 90% da silagem de milho, e não necessitar aditivo para estimular a fermentação (VON PINHO et al., 2007).

Apesar do alto potencial produtivo da cultura do sorgo e da grande disponibilidade de cultivares com características que possibilitam grande adequação destes materiais às diferentes regiões, observa-se, na prática, uma produção baixa e irregular. Estas variações na produtividade são afetadas pelo baixo nível tecnológico principalmente na região semiárida.

Então, a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte S/A, EMPARN, em parceria com a Embrapa/Milho e Sorgo lançou oficialmente em dezembro de 2005 uma variedade de sorgo forrageiro de porte médio e de dupla aptidão denominada BRS – Ponta Negra para os pecuaristas da região, que apresenta como pontos de destaque inscritos na Tabela 1, além da resistência ao acamamento e a grande adaptabilidade à região do semiárido nordestino, apresentando tolerância à seca, à toxicidade e à acidez do solo (EMBRAPA, 2007).

Tabela 1: Características agronômicas da variedade BRS – Ponta Negra.

Categoria	Forrageira de porte médio
Ciclo	60 a 75 dias
Maturação	110 a 120 dias (grãos)
Ponto de silagem	85 a 95 dias
Altura de Planta	200 a 250 cm
Tipo de panícula	Semi-aberta
Cor do grão	Marrom claro
Tanino no grão	Presente
Rendimento de massa verde	40 a 60 ton ha ⁻¹
Rendimento de massa seca	12 a 15 ton ha ⁻¹
Rendimento de grão (sequeiro) ¹	3 a 4 ton ha ⁻¹
Rendimento de grão (Irrigado)	6 a 8 ton ha ⁻¹
Proteína no grão	9,92%
Gordura(grão)	2,24%
Proteína na folha	16,19%
Tanino no grão	0,92 (método Folin-Denis)

¹ A presença de tanino nos grãos limita o uso para alimentação de monogástricos. Fonte: Embrapa, 2007.

Portanto, o sorgo Ponta Negra destaca-se como uma das cultivares mais promissoras, por ter um bom rendimento da panícula como também de forragem, tendo boa adaptabilidade no estado do Rio Grande do Norte. Porém, variedade apresenta tanino nos grãos, desta forma, a produção deve-se ser destinada somente para forragem para ruminantes.

2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem (HENRIQUE; DANTAS, 2006).

Segundo Klocke et al. (1996), a evapotranspiração corresponde à água removida da superfície e lançada na atmosfera. Este fenômeno ocorre devido à combinação de dois processos através dos quais a água é perdida pela superfície: por evaporação ou por transpiração. A evaporação, segundo definição de Allen et al. (1998), é o processo através do qual a água é convertida da fase líquida para a fase de vapor (vaporização), removendo-a de superfícies evaporantes como oceanos, lagos, rios, pavimentos, solos e vegetação úmida (evaporação do orvalho e da chuva interceptada pela copa das árvores). Já a transpiração é a água transferida ou perdida pela vegetação para a atmosfera, a partir de pequenos orifícios da superfície das folhas, estômatos, ou através de pequenas perdas pelas lenticelas no caso das plantas lenhosas (PEREIRA et al., 2002). Em uma superfície vegetada ocorrem simultaneamente os processos de evaporação e de transpiração. Evapotranspiração é o termo que foi utilizado por Thornthwaite (1944) para representar os processos conjuntos de evaporação e de transpiração que ocorrem naturalmente em uma superfície vegetada (PEREIRA et al., 2002).

A evapotranspiração depende da demanda evaporativa da atmosfera, determinada por quatro componentes meteorológicos: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. No tocante à vegetação, outros fatores são importantes como: área foliar, estágio de desenvolvimento, arquitetura foliar e resistência do dossel (MEDEIROS, 2002). A Temperatura do ar elevada, baixa umidade, condições de céu claro e alta velocidade dos ventos são condições que, se combinadas, muito contribuem com o

aumento da evapotranspiração. A principal fonte de energia utilizada no processo de evapotranspiração é a radiação solar. Essa energia é um elemento determinante no processo, uma vez que a mesma é responsável pelo aquecimento da superfície e do ar e esse aquecimento é favorável ao processo evaporativo. Ao longo de um dia, o aumento da temperatura do ar provoca aumento no déficit de saturação, tornando maiores as demandas evaporativas do ar. Essa condição favorece a evapotranspiração, porque a quantidade de vapor que pode estar presente no mesmo volume de ar torna-se maior (GARCEZ; ALVAREZ, 1988; PEREIRA et al., 2002).

A temperatura atua em conjunto com a umidade relativa do ar e ambas condicionam a pressão de vapor agindo, portanto, como elementos ligados ao gradiente de vapor entre a superfície e o ar vizinho a ela (VILLELA e MATTOS, 1975; PEREIRA et al., 2002). A umidade relativa do ar, por sua vez, é determinante no processo evaporativo, uma vez que a umidade relativa baixa é um indicativo de uma forte demanda evaporativa da atmosfera. A demanda evaporativa da atmosfera está relacionada com a sua capacidade de remover água da superfície, necessária para a manutenção do ciclo hidrológico, bem como da quantidade de calor latente necessário para a alimentação dos seus diferentes processos. Quanto maior a umidade relativa do ar, menor é a demanda evaporativa; portanto, menor a evapotranspiração (PEREIRA et al., 2002).

O vento, por sua vez, intervém ativamente no fenômeno de evaporação, aumentando a intensidade desta por afastar das proximidades das superfícies evaporantes as massas de ar de elevado grau de umidade, substituindo-as por massas de ar com menor teor de vapor d'água (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). Segundo Pereira et al. (2002), o vento também atua como transporte advectivo de energia de uma região mais seca para uma região mais úmida, e esta energia é utilizada no processo de evapotranspiração. Ainda segundo os autores, no que diz respeito ao fenômeno da transpiração, altas velocidades do vento causam o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, redução da mesma por resfriamento da superfície vegetal.

No tocante da vegetação, outro fator relacionado à planta que também deve ser levado em consideração é o albedo da vegetação. Este fator influencia diretamente na disponibilidade do saldo de radiação para o processo, pois quanto mais escura for a vegetação, menor será a reflexão dos raios solares incidentes, conseqüentemente maior a absorção, e maior será o saldo de radiação (PEREIRA et al., 2002). Ainda de acordo com os pesquisadores, a intensidade da evapotranspiração também é função da profundidade do

sistema radicular da planta (pois quanto maior for o sistema radicular maior é o volume de solo explorado pelas raízes, visando o atendimento da demanda hídrica da atmosfera), da altura e da rugosidade da planta (pois plantas mais altas e mais rugosas interagem mais eficientemente com a atmosfera em movimento, extraindo mais energia do ar, contribuindo para o aumento da evapotranspiração).

Os fatores de gestão das condições ambientais também são relevantes no processo evapotranspirativo. Segundo Allen et al. (1998), fatores como salinidade e fertilidade do solo, solos compactados e quase impermeáveis, controle de pragas e doenças das lavouras e o manejo inadequado dos solos limitam o desenvolvimento das culturas e podem reduzir consideravelmente a evapotranspiração. Segundo Garcez e Alvarez (1975), a intensidade da evaporação é inversamente proporcional ao teor de sal na água. Em igualdade de condições há uma redução de 2% a 3% da evapotranspiração ao passar da água doce para a água salgada. Pereira et al. (2002) enfatizaram os fatores relacionados ao manejo do solo. Um espaçamento menor resulta numa competição intensa pela água, causando o aprofundamento do sistema radicular para aumentar o volume de água absorvido.

2.2.1 Evapotranspiração de referência (ET_o)

O conceito de evapotranspiração de referência (ET_o) se introduz para estudar a demanda da evapotranspiração para a atmosfera, independentemente do tipo e fase de desenvolvimento da cultura, e das práticas de manejo. Os únicos fatores que afetam a ET_o são os dados climáticos. A ET_o expressa o poder evaporante da atmosfera em uma localidade e época do ano específicas, e não se considera as características das culturas, e nem os fatores do solo (ALLEN et al., 2006).

Entre os métodos de estimativa de ET_o, encontram-se os denominados físicos-matemáticos que representam com mais fidelidade a física envolvida na evapotranspiração e aqueles intitulados empíricos que não possuem uma significação física, representando uma relação puramente matemática ou estatística entre a ET_o e as variáveis atmosféricas medidas localmente (ALLEN et al., 1998; BURMAN; POCHOP, 1994; DOORENBOS; KASSAM, 1979; JESSEN et al., 1990; SALASSIER et al., 2006). Assim, os métodos com embasamento físico representam bem o processo da ET_o em qualquer região e condições climáticas, sendo recomendado pela FAO o uso do método da FAO 56 Penman-Monteith,

um método físico matemático, para a estimativa da ETo (ALLEN et al., 2006). Então, a evapotranspiração de referência (ETo) é definida como sendo a quantidade de água removida de uma superfície com características específicas. De acordo com Allen et al. (1998), a superfície de referência é uma área totalmente coberta por uma cultura hipotética, com altura 0,12 m, com resistência estomática fixa em 70 s m^{-1} , com albedo de 0,23 e sem restrições hídricas.

Enquanto os métodos empíricos criados, por vários cientistas e pesquisadores, para determinação da evapotranspiração de referência (ETo) utilizando diferentes elementos climáticos só estimam de forma satisfatória a evapotranspiração nas condições de clima em que são desenvolvidos, e quando utilizados em condições diferentes podem proporcionar grandes erros e gerar grandes perdas nas produções ou desperdício de recursos hídricos (OLIVEIRA, 2003).

2.2.2 Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura sob condição padrão, ou simplesmente evapotranspiração da cultura (ETc), corresponde a evapotranspiração de uma cultura qualquer que se encontra livre de pragas e doenças, com boa fertilização, cresce em grandes áreas sob condições ótimas de solo e água e que atingem a máxima produção nas condições climáticas em que está inserida (ALLEN et al., 1998).

A ETc pode ser calculada a partir de dados meteorológicos e integrado diretamente os fatores da resistência do cultura, albedo e resistência do ar dentro do enfoque da equação de Penman-Monteith. Porém, ainda existe uma considerável falta destas informações para os diferentes culturas, fato que implica na utilização do método de Penman-Monteith apenas para estimar os valores de ETo (ALLEN et al., 1998).

Contudo, a prática recomendada para estimar valores de ETc baseia-se no conceito de duas etapas, onde na primeira os valores de ETo são determinados localmente utilizando dados de estações meteorológicas e, na segunda, valores de coeficiente da cultura (Kc) são determinados experimentalmente para cada cultura. Assim, os valores de ETc podem ser obtidas pela equação ($ETc = ETo \cdot Kc$), ou seja, pela multiplicação da ETo pelo fator de correção ou ajuste da cultura específica, o Kc .

Já para a Evapotranspiração da cultura sob condições não padrão (ET_{caj}) se refere a Evapotranspiração da cultura que crescem sob condições ambientais e de manejo diferentes daquelas preconizadas para condição padrão (ALLEN et al., 1998).

A evapotranspiração real da cultura pode ser diferente da evapotranspiração da cultura devido a ocorrência de condições não ótimas como, por exemplo, a presença de pragas e doenças, a salinidade do solo, a baixa fertilidade do solo e, também, o déficit ou excesso hídrico. Essas condições podem resultar na inibição do crescimento das plantas e, por consequência, reduzir a taxa evapotranspiração observada para valores abaixo dos previsto para a ET_c (ALLEN et al., 1998).

2.2.3 Coeficiente da cultura (K_c)

O coeficiente de cultivo ou da cultura (K_c) representa um indicador de significado físico e biológico, uma vez que depende da área foliar, da arquitetura (parte aérea e sistema radicular), da cobertura vegetal e da transpiração da planta (ALLEN et al., 2006). Portanto, o K_c representa o efeito das características da cultura nas suas necessidades hídricas e é obtido experimentalmente. Contudo, esta abordagem apresenta algumas dificuldades de aplicação, dado que os coeficientes de cultura podem não ser generalizáveis a todas as situações, uma vez que podem variar entre locais, e até mesmo entre anos, dependendo da precipitação e da temperatura (VILLALOBOS et al., 2000).

Segundo Allen et al. (1998), o K_c pode ser determinado experimentalmente pelo processo inverso, onde se estima a ET_o pelo método Penman-Monteith e a ET_c é medida por alguma metodologia, como por exemplo, a lisimetria de pesagem. Desta forma, o mesmo poderá ser determinado por meio da equação $K_c = ET_c/ET_o$, onde o K_c é o coeficiente da cultura, o qual depende de fatores tais como as condições climáticas, tipo de cultivo, duração do ciclo, em especial da duração da fase de crescimento da cultura e da frequência de irrigação (DOORENBOS; PRUITT, 1997).

Allen et al. (2006) apresentam valores de K_c para uma ampla gama de culturas e demonstra um método que utiliza apenas três valores de K_c (estágio inicial, médio e final) para traçar um gráfico de variação do K_c ao longo do ciclo da cultura. Porém os autores relatam que a altura da cultura e as condições climáticas do local do cultivo, principalmente em relação à velocidade do vento e umidade relativa do ar podem alterar a

resistência aerodinâmica e, conseqüentemente, interferir no K_c da cultura. Quando se necessita de uma estimativa mais exata da real necessidade hídrica das culturas o boletim técnico da FAO recomenda a utilização da metodologia do K_c dual, que consiste em dividir o K_c em dois componentes, um relacionado à planta (K_{cb}), ou basal, e outro relacionado a evaporação do solo (K_e), onde $K_c = K_{cb} + K_e$.

O coeficiente basal (K_{cb}) representa a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência ET_c/ET_o , quando se subtraem os efeitos do umedecimento da camada superficial do solo pela irrigação ou pela precipitação, mas a transpiração se mantém a uma taxa potencial, de modo que ela não é limitada pela ausência de água na zona radicular da cultura (PEREIRA, 2007).

O K_e possui peso maior na determinação do K_c durante a fase inicial da cultura, pois é o momento em que o solo se apresenta exposto e a capacidade de transpiração da cultura está reduzida. O componente de evaporação varia diariamente de acordo com a umidade na camada superficial do solo. Já o componente de transpiração possui comportamento mais estável, sendo tabelado em faixas de variação para cada fase do ciclo da cultura (tal como o K_c único). O cálculo do K_c dual possibilita uma maior acurácia, uma vez que o K_e varia muito, de acordo com os elementos meteorológicos e a umidade da superfície do solo, sobretudo em estações chuvosas e utilizando irrigação em área total (ALVES, 2009).

2.2.4 Lisimetria

Medeiros (2002) define lisímetros como sendo grandes “containers”, localizado no campo e preenchidos com solo, a fim de representar o ambiente local, com superfície vegetada ou em solo nu, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento ou de uma cobertura vegetal de referência ou ainda da evaporação a partir de um solo não vegetado.

Lisímetros de pesagem, a evapotranspiração, bem como os outros componentes do balanço hídrico, podem ser determinados por meio do monitoramento da variação de massa do lisímetro, ao contrário dos lisímetros não-pesáveis, que permitem determinar a evapotranspiração para um dado período de tempo, por meio da diferença entre volume total de água drenado e o que entrou no sistema. Para Farahani et al. (2007) e Bryla, Trout

e Ayars (2010), a lisimetria de pesagem é reconhecida a melhor técnica para se determinar a evapotranspiração.

Segundo Medeiros (2002), os lisímetros de pesagem envolvem vários princípios e dispositivos de medida. Esses dispositivos podem ser: de pesagem mecânica, com balanças, de pesagem eletrônica, com células indicadoras de esforço, ou ainda, os sistemas de pesagem hidráulica.

De acordo com Pereira et al. (2002a), as células de carga medem uma corrente elétrica que se altera continuamente em função de deformações causadas pela variação da massa sustentada. Segundo Silva et al. (1999), além da exatidão, os sistemas de pesagem geralmente apresentam distribuição homogênea da massa do sistema e podem apresentar sensibilidade de até 0,1 kg ou 0,1 mm. Allen et al. (1991) apresentaram extensa revisão de diversos tipos de lisímetros destacando-se, como mais precisos, os de pesagem, que determinam diretamente a evapotranspiração pela variação da massa de um volume de solo vegetado e confinado por paredes impermeáveis, durante um intervalo de tempo. Para Howel (2004), os lisímetros de pesagem tipo misto (dispositivo eletrônico, com alavancas e contra pesos) permitem obter medidas bastante acuradas da evapotranspiração, sendo frequentemente encontradas acurácias entre 0,05 e 0,02 mm. Para Aboukhaled, Alfaro e Smith (1982), boas acurácias da ordem de 0,1 a 0,025 mm podem ser obtidas com este tipo de equipamento.

Os lisímetros de pesagem geralmente são calibrados no próprio local, após sua instalação, cobrindo-se o solo para minimizar a evapotranspiração e colocando-se quantidades conhecidas de massa sobre a superfície, enquanto são tomadas leituras da balança (HOWELL et al., 1985). Os lisímetros, quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração (ET), principalmente quando os mesmos são preenchidos corretamente, pois, dessa forma, as camadas de solo no seu interior assemelham-se o máximo possível às camadas de solo da área externa (SILVA, 2003).

Pereira et al. (2002a) comentam que dificuldades operacionais são verificadas em dias com chuvas intensas, em sequência de dias com chuvas intermitentes e também em dias sem chuvas, mas com ventos intermitentes. Os autores concluíram que medidas de ET em intervalos inferiores a 60 minutos nem sempre são tão exatas quanto se espera de um sistema admitido como padrão.

Existem dificuldades em se manter as condições internas e externas dos lisímetros com as mesmas características, como por exemplo, o “efeito buquê” (crescimento de

plantas maiores no interior do lisímetro). Esta diferença segundo o autor provoca uma perturbação maior no movimento horizontal do ar, com aumento do grau de turbulência do calor sensível (SEDIYAMA, 1996).

Segundo Allen et al. (1991), quando as medidas de lisímetros diferem muito das estimativas feitas por modelos com forte base física, como o de Penman-Monteith-FAO 56 é possível que o dispositivo não esteja representado as reais condições do ambiente em estudo.

A determinação do consumo de água e dos coeficientes de cultura por meio da utilização de lisimetria vem sendo empregada no Brasil, sendo o lisímetro de pesagem o modelo mais empregado em estudos de culturas de médio porte como as culturas anuais (MEDEIROS et al., 2003; CARVALHO et al., 2007; SANTOS et al., 2008).

Considerando-se que o lisímetro de pesagem constitui-se de um bloco isolado hidrologicamente, é possível estudar no mesmo os vários componentes de entradas e saídas do balanço hídrico (ABOUKHALED, ALFARO, SMITH, 1982; ALLEN et al., 1998; HOWELL, 2004).

Assim, segundo Aboukhaled, Alfaro e Smith (1982), o balanço hídrico do solo do lisímetro fica descrito como na equação 1:

$$P + I \pm ES = ET + D \pm \Delta A \quad (1)$$

Em que:

P = precipitação, mm;

I = irrigação, mm;

ES = escoamento superficial, mm;

D = drenagem, mm;

ΔA = variação do armazenamento de água, mm.

Normalmente os lisímetros de pesagem são confeccionados com borda superior ligeiramente elevada, pois assim a ocorrência de escoamento superficial para dentro ou para fora do lisímetro é evitada e o seu valor no balanço hídrico é considerado nulo.

Portanto, a evapotranspiração pode ser determinada isolando-se o seu termo na equação:

$$ET = P + I - D \pm \Delta A \quad (2)$$

Geralmente os termos precipitação e irrigação são determinados paralelamente utilizando outros métodos, como por exemplo, pluviômetro. Por outro lado, na ocasião em que é feita abertura dos registros do sistema de drenagem, o termo drenagem pode ser determinada com base na variação de massa acusada pelo próprio lisímetro. Assim, se em um determinado intervalo de tempo (dia ou hora, por exemplo) não ocorrer precipitação, irrigação e drenagem, a evapotranspiração a ser determinada pelo lisímetro será igual a sua própria variação de massa. No caso da ocorrência de um ou mais desses outros termos, os mesmo deve ser descontados (HOWELL, 2004).

2.3 GRAUS DIAS ACUMULADOS

O conceito de tempo termal, em substituição ao da contagem cronológica, tem sido utilizado desde 1730 (WANG, 1960). Segundo este conceito, as plantas desenvolvem-se à medida que acumulam unidades térmicas acima de uma temperatura-base, ao passo que, abaixo desta temperatura, o crescimento cessa. Por meio do acúmulo térmico, também conhecido como graus-dia, têm-se obtido ótimas correlações com a duração do ciclo da cultura, ou com os estádios do desenvolvimento fenológico de uma dada cultivar. Cada grau de temperatura acima da temperatura-base corresponde a um grau-dia. Cada espécie vegetal ou cultivar possui uma temperatura-base, que pode variar em função da fase fenológica da planta, sendo comum, no entanto, a adoção de um valor médio único para todo o ciclo da cultura, por ser mais fácil a sua aplicação (CAMARGO, 1984).

Réaumur definiu graus-dia de desenvolvimento (GDD) como sendo a temperatura média do dia, suficiente para estimular o crescimento da planta (ALBERT et al., 2011; STRECK, 2004).

Após o conceito e formalismo descrito por Réaumur, outros métodos de modelagem com unidades de temperatura foram criados para auxiliar no cultivo de plantas comerciais (MCMASTER; WILHELM, 1997). No método original de Réaumur a constante térmica é calculada a partir da soma das temperaturas médias diárias acima de 0 °C que podem ser determinadas para o ciclo total ou para cada fase fenológica. Esse

método foi denominado de método direto, mas apresentava limitações por sofrer variações em função das características locais (ALBERT et al., 2011; COELHO, 2004).

A determinação da constante térmica é baseada na quantidade de energia equivalente à soma de graus centígrados e na temperatura-base (ALBERT et al., 2011; ORTOLANI et al., 1991). A temperatura-base pode ser definida como a temperatura abaixo da qual a planta não se desenvolve ou apresenta desenvolvimento em taxas reduzidas (ALBERT et al., 2011).

O método de graus-dia é um parâmetro de extrema relevância no processo de otimização e redução de riscos climáticos, uma vez que o conhecimento das exigências térmicas de uma cultura contribui para a previsão da duração do ciclo da planta, em função dos fatores ambientais (BARBANO et al., 2003).

Diversos autores têm se valido da soma de graus-dia para relacionar o desenvolvimento das plantas com a temperatura ambiente (BRUNINI et al., 1976, ALVES et al., 2000, BARBANO et al., 2000, WUTKE et al., 2000).

Podem ser encontrados, na literatura científica, valores de temperatura-base e soma térmica para algumas plantas graníferas (BRUNINI et al., 1995, BARBANO et al., 2000, WUTKE et al., 2000), porém, são muito restritos os estudos desta natureza, realizados especificamente para a cultura do sorgo, nas condições brasileiras.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na fazenda experimental pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), no município de Ipanguaçu/RN (Figura 1) situado na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião Vale do Açu, limitando-se com os municípios de Afonso Bezerra, Açu, Itajá e Angicos, abrangendo uma área de 374 km² (IBGE, 2013). Encontra-se totalmente inserido nos domínios da bacia hidrográfica Piranhas-Açu, com as coordenadas geográficas 5°29'54" de latitude sul e 36°5'18" de longitude oeste, e altitude de 16 m.



Figura 1: Localização do município de Ipanguaçu no Estado do Rio Grande do Norte.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Ipanguaçu é do tipo BSh, (muito quente e semiárido), e segunda a classificação de Thornthwaite, é do tipo DA'da', clima semiárido, megatérmico, com pequeno ou a nenhum excesso de água e concentração da evapotranspiração potencial no trimestre mais quente (novembro, dezembro e janeiro), com temperatura média anual de 27,7 °C, temperatura máxima média de 34,9 °C e temperatura mínima média de 20,7 °C e precipitação média de aproximadamente 595 mm ano⁻¹, uma série histórica 1992-2004, segundo dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) (VASCONCELOS, 2006).

O solo da área experimental é do tipo aluvial eutrófico salino-sódico, fase floresta de várzea, de alta fertilidade, porém, com limitações causadas por sais, com textura franco siltoso (362 g kg⁻¹ de areia, 526 g kg⁻¹ de silte e 112 g kg⁻¹ de argila), capacidade de campo (cc = 0,261 kg kg⁻¹), ponto de murcha permanente (pmp = 0,080 kg kg⁻¹), densidade global (ra = 1,13 kg dm⁻³), densidade das partículas (rp = 2,29 kg dm⁻³) e porosidade total (Po = 0,5066 m³ m⁻³). Foram feitas análises das amostras de solo (Tabela 2) coletada na área do experimento, a fim de fornecer a adubação recomendada para a cultura, onde foi realizada uma adubação de fundação e duas de cobertura. O preparo de solo foi realizado com o objetivo de facilitar o plantio, garantir um melhor desenvolvimento das raízes, eliminar as

ervas daninhas e incorporá-las, juntamente com os restos culturais. O solo foi preparado por meio de duas arações e uma gradagem leve.

Tabela 2: Características químicas do solo, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Elementos	Unidade	Prof. (0 - 20 cm)
N	g kg ⁻¹	0,70
pH	água	5,57
CE	ds m ⁻¹	0,11
MO	g kg ⁻¹	11,85
P	mg dm ⁻³	72,9
K ⁺	mg dm ⁻³	241,3
Na ⁺	mg dm ⁻³	68,8
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	6,74
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	5,5
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,05
(H+Al ³⁺)	cmol _c dm ⁻³	1,32
SB	cmol _c dm ⁻³	13,16
t	cmol _c dm ⁻³	13,21
CTC	cmol _c dm ⁻³	14,48
V	%	91
m	%	0
PST	%	2

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

A área cultivada foi de 0,28 ha (Figura 2), com a cultura do sorgo Ponta Negra, utilizando-se de um espaçamento de 0,10 m entre plantas e 0,75 m entre linhas. A semeadura foi realizada em 31 de agosto, 10 dias após foi realizado o primeiro desbaste, em que observa-se na (Figura 3) e aos 14 dias após emergência houve o desbaste final, deixando-se apenas 10 plantas por metro linear, resultando numa população de aproximadamente 133.333 plantas ha⁻¹. Para o controle das plantas daninhas foi realizada aplicação de herbicida pré-emergente após a semeadura e uma capina manual. Não houve necessidade de controlar as principais pragas da cultura do sorgo, pois o nível de dano era menor que o nível de dano econômico.

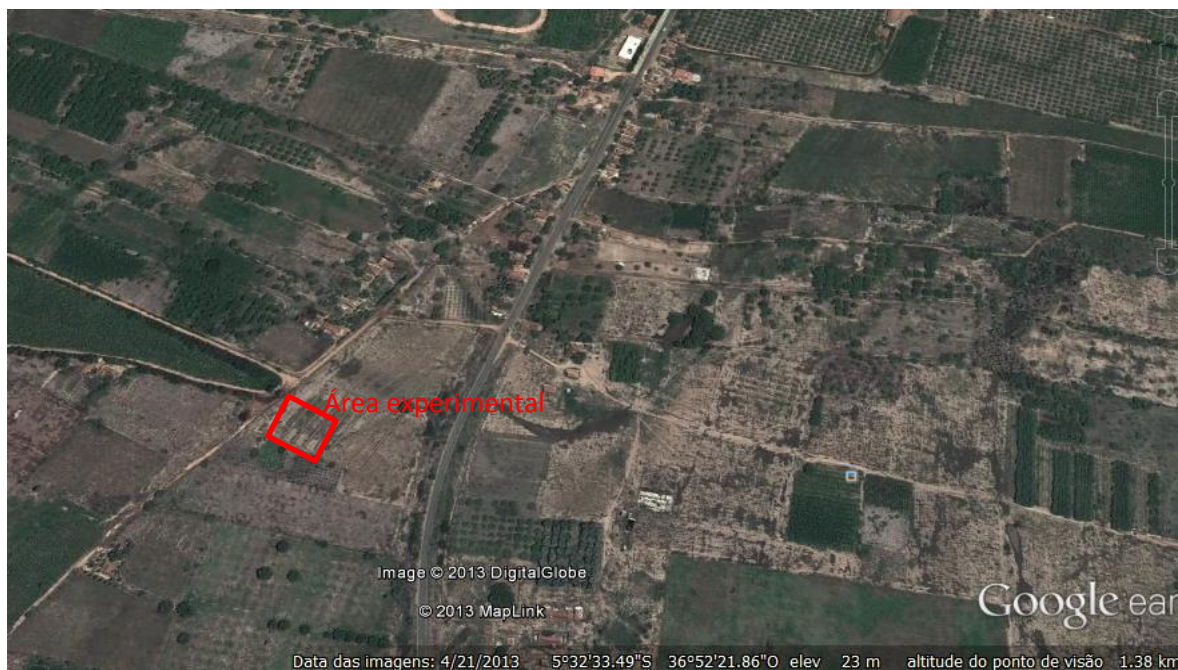


Figura 2: Local onde foi instalado o experimento na Fazenda experimental da EMPARN, em Ipanguaçu/RN, 2012.



Figura 3: Área do lisímetro com as plantas após uma semana da semeadura, em Ipanguaçu/RN, 2012.

3.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Antes do início do experimento, no dia 21 de agosto de 2012 foi realizada uma avaliação no sistema de aspersão (Figura 4), em que a metodologia para avaliação foi: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por CHRISTIANSEN (1942), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE). A metodologia usada foi aquela descrita pela ASAE (1990) e o tempo de operação durante o teste de aspersor foi de 60 minutos. Foram colocados na área 20 pluviômetros com área de 50 cm^2 . A disposição dos pluviômetros para a coleta de água aplicada pelo aspersor foi posicionada numa malha quadrada de $3 \times 3\text{ m}$, correspondendo uma área de 9 m^2 .



Figura 4: Avaliação de uniformidade de distribuição no sistema de irrigação por aspersão.

Estimou-se a uniformidade de distribuição de água por meio dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (Equação 3), Uniformidade de distribuição (Equação 4) e Uniformidade Estatística (Equação 5) expressas pelas seguintes equações:

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Em que:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %;

X_i = precipitação no pluviômetro de ordem i, mm;

$\bar{X}$ = média das precipitações dos pluviômetros, mm;

n = número de pluviômetros.

$$CUD = \frac{X_{1/4}}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que:

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$X_{1/4}$ = média de ¼ das precipitações do total de pluviômetros contendo as menores precipitações, mm;

$\bar{X}$ = média das precipitações dos pluviômetros, mm.

$$CUE = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|^2}{(n-1)}}}{\bar{X}} \right] = 100 \cdot \left[1 - \frac{S}{\bar{X}} \right] = 100 - CV \quad (5)$$

Em que:

CUE = Coeficiente de Uniformidade Estatística, %;

X_i = precipitação no pluviômetro de ordem i, mm;

$\bar{X}$ = média das precipitações dos pluviômetros, mm;

n = número de pluviômetros;

S = desvio-padrão dos dados de precipitação;

CV = coeficiente de variação, %.

A interpretação dos valores dos coeficientes de uniformidade (CUC, CUD e CUE) baseou-se na metodologia proposta por Mantovani (2001), apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Classificação dos valores do desempenho de sistema de irrigação por aspersão em função do CUC, CUD e CUE.

CLASSIFICAÇÃO	CUC	CUD	CUE
Excelente	>90	>84	90-100
Bom	80-90	68-84	80-90
Razoável	70-80	52-68	70-80
Ruim	60-70	36-52	60-70
Inaceitável	<60	<36	<60

Fonte: Mantovani (2001).

As irrigações foram realizadas por um sistema de aspersão (Figura 5), com espaçamento de 15 x 12 m, com aspersores Fabrimar modelo Eco A232 capacete verde e diâmetros de bocais 4,0 x 2,8 mm, que segundo as especificações do fabricante aplicam uma vazão de $1,29 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, trabalhando a uma pressão de serviço de 250 kPa. A lâmina bruta total de água aplicada durante o experimento foi 602,84 mm via irrigação e não houve precipitação pluviométrica.



Figura 5: Sistema de irrigação por aspersão na área experimental, em Ipanguaçu/RN, 2012.

3.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o)

A Evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada a partir dos dados meteorológicos obtidos por uma estação meteorológica automática (Figura 6) instalado entre os dois lisímetro de pesagens na área experimental, onde o método utilizado para estimar a ET_o foi de Penman-Monteith, parametrizado pela FAO (Equação 6). A estação meteorológica foi equipada com os seguintes sensores instalados:

- Sensor de temperatura e umidade do ar (HMP45C da Campbell Scientific): é um instrumento constituído de dois sensores um utilizado para medir a temperatura (°C) e outro a umidade relativa do ar (%);
- Anemômetro (03002-L da Campbell Scientific): é um instrumento constituído de dois sensores, um sendo um responsável pela medição da velocidade do vento e o outro pela direção do vento. A velocidade do vento é medida em m s^{-1} e a direção em graus.
- Pluviômetro (TE525MM-L da Campbell Scientific): é um instrumento utilizado para o registro contínuo da precipitação (chuva), que é medida em milímetros (mm).
- Radiômetro (CNR4 da Campbell Scientific): é um instrumento utilizado para medir a radiação solar incidente à superfície, o saldo de radiação à superfície, que é a principal fonte de energia utilizada nos processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem na folha. Ou seja, o saldo de radiação é a quantidade de energia disponível para os processos de evapotranspiração e aquecimento do ambiente (do ar, do solo e da água).

Este parâmetro é um dos principais componentes da equação FAO-Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) utilizada para estimar a ET_o.

- Fluxímetro (HFP01-SC da Campbell Scientific): é um instrumento utilizado para medir o fluxo de calor no solo. Este elemento também é componente da equação FAO-Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) utilizada para determinação da ET_o.



Figura 6: Estação meteorológica automática instalada na área experimental.

De acordo com Allen et al. (2006), a equação de Penman-Monteith FAO assume a seguinte forma para a evapotranspiração de referência:

$$ET_o = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} V_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34V_2)} \quad (6)$$

Em que:

ET_o = evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

R_n = saldo de radiação na superfície da cultura, MJ m⁻² dia⁻¹;

G = densidade de fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹;

T = temperatura média do ar a 2 m de altura, °C;

V_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s = pressão de saturação de vapor, kPa;

e_a = pressão real de vapor, kPa;

$(e_s - e_a)$ = déficit de saturação do vapor, kPa;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C⁻¹;

γ = constante psicrométrica, kPa °C⁻¹.

Todo os procedimento de cálculo da ET_o foram realizados de acordo com Allen et al.,(2006), conforme sequência apresentada abaixo.

A declividade da curva da pressão de vapor (Δ) em função da temperatura no ponto de $T_{méd}$ é definida como:

$$\Delta = \left(\frac{4098 e_s}{(T_{méd} + 237,3)^2} \right) \quad (7)$$

Em que:

e_s = pressão de saturação do vapor médio diário, kPa;

$T_{méd}$ = temperatura média diária do ar a 2 m de altura, °C.

A pressão de saturação de vapor foi calculada de acordo com a equação 8 demonstrada abaixo:

$$e_s = \frac{(e_s T_{máx} + e_s T_{min})}{2} \quad (8)$$

Em que:

$e_s T_{máx}$ = pressão de saturação de vapor à temperatura máxima, kPa;

$e_s T_{min}$ = pressão de saturação de vapor à temperatura mínima (kPa), e foram estimadas pelas seguintes equações:

$$e_s T_{máx} = 0,6108 \exp \left(\frac{17,27 \cdot T_{máx}}{237,3 + T_{máx}} \right) \quad (9)$$

$$e_s T_{min} = 0,6108 \exp \left(\frac{17,27 \cdot T_{min}}{237,3 + T_{min}} \right) \quad (10)$$

A pressão atual de vapor e_a é dada por:

$$e_a = \frac{e_s T_{min} \cdot UR_{máx} + e_s T_{máx} \cdot UR_{min}}{2} \quad (11)$$

Em que:

$UR_{máx}$ = Umidade Relativa máxima, em decimal;

UR_{min} = Umidade Relativa mínima, em decimal.

O saldo líquido de radiação, que representa a diferença entre o saldo de radiação de onda curta e o saldo de radiação de ondas longas foi estimado por:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (12)$$

Em que:

R_{ns} = saldo de radiação de ondas curtas, MJ m⁻² dia⁻¹;

R_{nl} = saldo de radiação de ondas longas, MJ m⁻² dia⁻¹.

O saldo de radiação de ondas curtas foi obtido conforme a equação abaixo:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (13)$$

Em que:

α = albedo da superfície, que representa a capacidade de refletância da superfície da cultura de referência, cujo valor indicado é 0,23;

R_s = radiação global, MJ m⁻² dia⁻¹.

O calculo do saldo de radiação de ondas longas foi determinado por:

$$R_{nl} = (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \sigma \left(\frac{T_{máx,k}^4 + T_{mín,k}^4}{2} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (14)$$

Em que:

e_a = pressão atual de vapor médio diário, kPa;

σ = constante de Stefan-Boltzman, 4,903·10⁻⁹ MJ K⁻⁴ m⁻² dia⁻¹;

$T_{máx,k}$ = temperatura máxima diária absoluta, K;

$T_{mín,k}$ = temperatura mínima diária absoluta, K;

R_{so} = radiação solar em dia de céu claro, ou seja, sem nuvens, MJ m⁻² dia⁻¹.

Sendo R_{so} estimada pela seguinte equação:

$$R_{so} = (0,75 + 0,00002 \cdot z) R_a \quad (15)$$

Em que:

z : = altitude local (m);

R_a = radiação no topo da atmosfera, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A radiação solar no topo da atmosfera (R_a) é expressa através da equação:

$$R_a = 37,586 dr (H \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(H)) \quad (16)$$

Em que:

dr = distância relativa terra-sol;

H = ângulo horário no pôr-do-sol, rad;

φ = latitude local, rad;

δ = declinação solar, rad.

A seguir são representadas as equações para cálculo da distância relativa terra-sol (dr), ângulo horário no pôr-do-sol (H) e declinação solar (δ):

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (17)$$

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (18)$$

$$H = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (19)$$

Em que:

J = o dia Juliano.

P = pressão atmosférica em (kPa);

Para períodos diários, a densidade de fluxo de calor no solo pode ser desprezível, ou seja $G = 0$, conforme o boletim FAO 56 (ALLEN et al., 2006).

O coeficiente psicrométrico γ foi determinado por:

$$\gamma = \frac{c_p \cdot P}{\varepsilon \cdot \lambda} \quad (20)$$

Em que:

c_p = calor específico a pressão constante ($1,013 \cdot 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);

ε = relação entre a massa molecular do vapor da água e do ar seco (0,622);

P = pressão atmosférica em (kPa); expressa pela equação 21;

z = altitude local em (m);

λ = calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}); expressa pela equação 22.

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (21)$$

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \cdot 10^{-3}) T_{\text{méd}} \quad (22)$$

Todos os sensores estavam ligados a um datalogger CR3000 da Campbell Scientific (Figura 7), em que as leituras realizadas a cada 60 segundos e armazenadas as médias a cada 10 minutos.



Figura 7: Datalogger utilizado para coleta de dados.

3.4 DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ET_c)

Para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) nos diversos estádios de desenvolvimento, foram utilizados dois lisímetros (Lis 1 e Lis 2) de pesagem idênticos (Figura 8), que foram instalados em posições estratégicas visando minimizar os efeitos da advecção provocada pela área circundante do experimento.



Figura 8: Sorgo Ponta Negra na área do lisímetro, em Ipanguaçu/RN, 2012.

3.4.1 Lisímetro e sua instalação

Os lisímetros possuem dimensões de 1,5 x 1,8 m (Figura 9) que corresponde uma área 2,7 m² e 0,9 m de profundidade útil (dimensões internas), constituídos de chapa de aço de 1/8", com uma saída para drenagem localizada ao fundo da caixa. A caixa interna de aço foi posicionada sobre uma balança eletrônica de precisão que por sua vez estava assentada em laje de concreto com espessura de 15 cm.

A balança possui uma barra de pesagem (braço de apoio) ao qual se liga a um elemento sensível (célula de carga), transferindo o peso do conjunto lisimétrico à célula de carga. As células de carga utilizadas são fabricadas pela Alfa Instrumentos modelo SV50

com capacidade de 50 kg. As leituras das células de cargas foram feitas automaticamente por um sistema de aquisição de dados, do tipo Datalogger modelo CR3000, da Campbell Scientific, programado para realizar leituras a cada 60 segundos e os dados de saída a cada 10 minutos.

Os lisímetros foram preenchidos com solo da própria área, escavado em camadas de 25 cm de espessura, separadas em blocos, para posteriormente serem recolocada na mesma ordem que foi retirada, mantendo assim a mesma sequência de horizontes do solo original. Antes de recolocar o solo nas caixas em suas respectivas profundidades, foi colocada uma camada de 8 cm de brita nº 1 e acima da brita uma manta de poliéster, com finalidade de auxiliar na drenagem da água e evitar entupimentos do orifício no fundo da caixa.

Foi utilizado o procedimento recomendado por Silva (2003), dessa forma, todas as leituras dos lisímetros foram analisadas diariamente para que ocorrências de chuva, irrigação ou drenagem do volume de solo controlado sejam identificadas e desconsideradas do cálculo da ETc.



Figura 9: Processo de instalação dos lisímetros. (A) escavação; (B) estrutura de alvenaria; (C) balança instalada; (D) caixa metálica; (E) preenchimento do lisímetro; e (F) posicionamento dos lisímetros instalados em campo. Fonte: Cavalcante (2011).

3.4.2 Calibração dos lisímetros

A calibração dos lisímetros foi realizada posteriormente da conversão da leitura feita pelo datalogger, dada em milivolts (mV), para massa (kg). Para isto, foi realizada a adição unitária (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 kg) e sucessiva, e posterior subtração, de massas-padrão, com peso conhecido, sobre a superfície do lisímetro, efetuando-se simultaneamente as medições com leituras correspondentes no sistema de aquisição de dados, de forma a coletar valores para aferição posterior. Como a área do lisímetro é de 2,7 m² (1,5 x 1,8 m), cada quilograma colocado vai corresponder à lâmina de água de 0,370 mm.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão linear. Também foi realizada uma correlação entre os valores das massas-padrão observada e estimada com base em indicadores estatísticos, dada pelo coeficiente de correlação (r), indicando o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, de exatidão (d), que está associada ao desvio entre valores estimados e medidos, dado pelo índice de Willmott e o coeficiente de desempenho (c) que é o produto de r e d ($c = rd$) (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), apresentados na Tabela 4.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O)(P_i - P)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - O)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P)^2}} \quad (23)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (24)$$

$$c = r \cdot d \quad (25)$$

Em que:

P_i = valor estimado;

P = média do valor estimado;

O_i = o valor observado;

O = é a média dos valores observados.

Tabela 4: Valores dos coeficientes de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de “c”	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

3.4.3 Coeficiente da cultura (K_c)

A determinação do K_c foi realizada diariamente, através do quociente da ET_c e da ET_o , como representado abaixo:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (26)$$

3.5 COEFICIENTE DA CULTURA (K_c) ESTIMADO PELA METODOLOGIA DA FAO

Para a determinação dos Kc's foi empregada a metodologia do Kc dual, apresentada por Allen et al. (2006), conforme equação abaixo:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (27)$$

Em que:

K_{cb} = coeficiente basal da cultura que se refere à transpiração da cultura;

K_e = coeficiente de evaporação do solo.

Os coeficientes de cultura basais recomendados no Boletim 56 da FAO para a cultura do sorgo são 0,15; 0,95 e 0,35 para as fases inicial e intermediária e para o final do ciclo, respectivamente.

Para efeito do cálculo dos Kc's, o ciclo da cultura foi dividido em quatro fases fenológicas, definidas por meio de observações em campo pelo acompanhamento do crescimento das plantas da seguinte forma: I) fase inicial: do plantio até 10% de cobertura do solo - (semeadura-emergência); II) fase de crescimento: do final da fase inicial até 80% da cobertura do solo (pendoamento-florescimento); III) fase intermediária: de 80% de cobertura do solo até o início da maturação dos frutos, (produção-enchimento dos grãos); IV) fase final: do início da maturação até a colheita dos frutos (maturação-colheita).

3.5.1 Estimativa do coeficiente basal da cultura (K_{cb})

Para estimativa dos coeficientes basais, selecionou-se os valores aprestados por Allen et al. (1998) para a cultura do sorgo forrageiro. No entanto, tais valores foram determinados para climas subúmidos ($UR \approx 45\%$) e com velocidades de vento moderadas ($V_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$). Os ajustes dos coeficientes basais médios das fases III e o final para as condições climáticas locais foram realizados de acordo com a seguinte equação:

$$K_{cb} = K_{cb_{(tab)}} + [0,04(V_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (28)$$

Em que:

K_{cb} = coeficiente basal ajustado;

$K_{cb (tab)}$ = (se $\geq 0,45$) é recomendado o ajuste pelo boletim FAO – 56 para a fase;

V_2 = velocidade média diária do vento a 2 metros de altura, durante a fase média ou final do ciclo da cultura, $1\text{ m s}^{-1} \leq V_2 \leq 6\text{ m s}^{-1}$;

UR_{min} = valor médio da umidade relativa mínima diária do ar durante as fases média ou final do ciclo cultural, para $20\% \leq UR_{min} \leq 80\%$;

H = altura média das plantas nas fases média ou final do ciclo quando $20\% \leq UR_{min} \leq 80\%$ (%) em (m).

3.5.2 Estimativa do coeficiente de evaporação do solo (K_e)

O coeficiente de evaporação foi definido pela seguinte equação:

$$K_e = K_r (K_{cmax} - K_{cb}) \leq f_{ew} K_{cmax} \quad (29)$$

Em que:

K_{cmax} = máximo valor de K_c após chuva ou irrigação, adimensional;

K_r = coeficiente de redução da evaporação, dependente do acúmulo de lâmina de água evaporada da superfície do solo e definido diariamente, adimensional;

f_{ew} = fração do solo exposta e molhada, em decimal.

O K_{cmax} representa o limite máximo da evapotranspiração de qualquer superfície cultivada, variando dentro da faixa de 1,05 a 1,30 e foi calculado pela seguinte equação:

$$K_{cmax} = \max \left(\left\{ 1,2 + \left[0,04(V_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45) \right] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \right\}, \{ K_{cb} + 0,05 \} \right) \quad (30)$$

O coeficiente de redução da evaporação do solo (K_r) foi calculado diariamente, sendo definido em dois estádios. No primeiro estádio, a evaporação acontece à taxa potencial determinada pela energia disponível a superfície do solo. Nesse estágio, o K_r é igual a 1. No segundo estágio a água contida na superfície do solo se torna limitante para o

processo evaporativo, o K_r decresce e torna-se zero quando a quantidade total de água evaporável da superfície do solo se extingue. O K_r foi calculado pela seguinte equação:

$$K_r = \frac{AET - D_{e,i-1}}{AET - AFE}, \text{ para } D_{e,i-1} > AFE \quad (31)$$

Em que:

K_r = é o coeficiente de redução da evaporação do solo, adimensional ($K_r = 1$, quando $D_{e,i-1} \leq AFE$);

$D_{e,i-1}$ = é a lâmina acumulada de evaporação na superfície do solo ao final de um dia_{i-1} (dia anterior) em (mm);

AET = água evaporável total (equação 32) é a lâmina acumulada máxima de evaporação na superfície do solo quando $K_r = 0$ em (mm).

$$AET = \left(\theta_{cc} - \frac{\theta_{pmp}}{2} \right) \cdot Z_e \quad (32)$$

Em que:

θ_{cc} = é o teor de umidade do solo na capacidade de campo em $m^3 m^{-3}$;

θ_{pmp} = é o teor de umidade do solo no ponto de murcha permanente em $m^3 m^{-3}$;

Z_e = é a profundidade da camada de solo que está sujeita ao processo de evaporação [100 a 150 mm];

AFE (água facilmente evaporável) é a lâmina acumulada de evaporação ao final do estágio 1 em (mm).

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - (P_i - RO_i) - \frac{I_i}{f_w} + \frac{K_e ET_o}{f_{ew}} + T_{ew,i} + DP_{e,i} \quad (33)$$

Em que:

$D_{e,i-1}$ = lâmina acumulada de evaporação após o umedecimento completo, originada a partir da fração exposta e umedecida da porção superior do solo, ao final do dia i^{-1} em (mm);

$D_{e,i}$ = lâmina acumulada de evaporação depois de um umedecimento completo ao final do dia (mm);

P_i = precipitação de um dia em (mm);

RO_i = escoamento da água precipitada na superfície do solo em um dia (mm);

I_i = lâmina de irrigação em um dia que se infiltra no solo (mm);

E_i = evaporação em um dia em (mm) – ($E_i = k_e ET_o$);

$T_{ew,i}$ = lâmina de transpiração que ocorre na fração exposta e umedecida na superfície do solo em um dia (mm);

$DP_{e,i}$ = perdas por percolação profunda que ocorre a partir da superfície do solo em um dia, quando o conteúdo de umidade do solo excede a capacidade de campo (mm);

f_w = fração da superfície do solo umedecida através da irrigação [0,01 – 1]; Sendo para a irrigação por aspersão $f_w = 1$.

f_{ew} = fração exposta e umedecida do solo [0,01 – 1];

O termo $T_{ew,i}$ foi considerado zero, segundo Allen et al., (1998), para os casos em geral, com exceção das culturas com raízes superficiais ($Z \leq 0,5$), este termo pode ser desprezado. E como durante o experimento não ocorreu escoamento (RO_i) este termo também foi desprezado.

Para iniciar o balanço hídrico diário, foi considerado o solo totalmente seco, temos então esta condição $D_{e,i-1} = AET$. Pereira e Allen (1997) dizem, que o erro que se comete, ao se utilizar do valor de $D_{e,i-1}$ para estimar o K_e para apenas uma interação em geral é desprezível.

A fração exposta e molhada da superfície (f_{ew}) define a percentagem da área de cultivo mais susceptível ao processo evaporativo e foi calculada pela equação:

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \quad (34)$$

Em que:

f_c = é o fator de cobertura do solo, que foi obtido por medições em campo.

3.6 COMPARAÇÃO ENTRE ET_c MEDIDA PELO LISÍMETRO E A ESTIMADA PELA METODOLOGIA FAO

Para a análise comparativa entre a ET_c medida e a estimada, foram utilizados os seguintes índices estatísticos de comparação sugeridos por Camargo e Sentelhas (1997): o grau de precisão obtido por meio do coeficiente de correlação “r” (Equação 23), a exatidão avaliada pelo índice de Willmott “d” (Equação 24) e o desempenho pelo indicador “c” (equação 25).

3.7 GRAUS DIAS ACUMULADOS

Com base nos dados diários de temperatura do ar, foi calculado o somatório térmico diário, conforme a metodologia de Arnold (1959).

$$GD = (T_{med} - T_b) \Delta t \quad (35)$$

Em que:

GD = Somatório em graus-dia;

T_{med} = Temperatura média do ar, °C;

T_b = Temperatura basal do sorgo, °C;

Δt = Intervalo de tempo, em dias.

3.8 ANÁLISES DE DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO DA PLANTA E PRODUTIVIDADES

Foram realizadas nove coletas ao longo do ciclo da cultura do sorgo (Figura 10), sendo que o tamanho da amostra composta por 10 plantas, coletado aleatoriamente dentro da área experimental de modo representar a população em estudo, iniciado aos 22 dias após o plantio (DAP) posteriormente foram feitas aos 29, 39, 47, 62, 68, 76, 83 e 91 DAP (Figura 11). As características avaliadas foram: a altura do dossel da planta (cm), através

de uma fita métrica; o número de folhas; o diâmetro do caule (mm), por meio de um paquímetro digital; a matéria fresca total e a matéria seca total. Para a determinação da massa seca, as plantas foram levadas ao laboratório e logo após foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65°C até atingir massa constante.

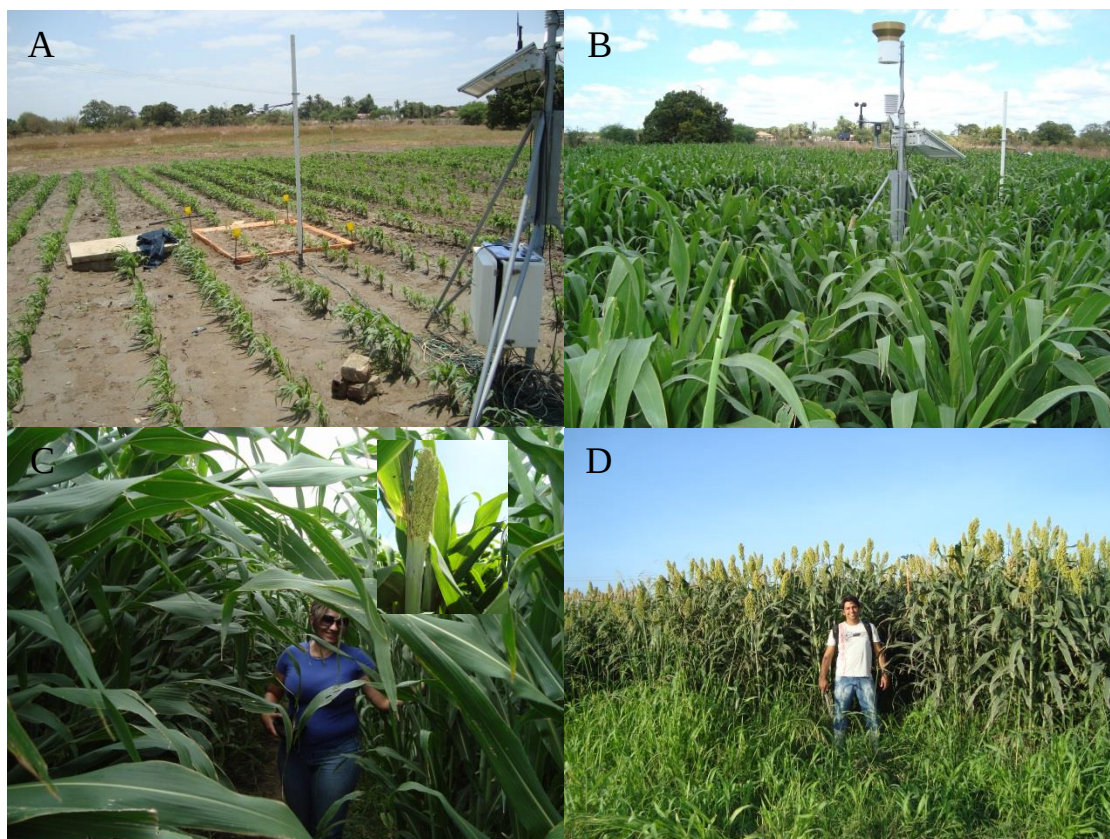


Figura 10: Estádios fenológico da cultura do sorgo. (A) fase inicial; (B) fase desenvolvimento vegetativo; (C) período de floração e frutificação; (D) período de maturação.



Figura 11: A cultura do sorgo “Ponta Negra” aos 91 dias após o plantio, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Em todas as plantas dos lisímetros (Figura 12) também foram realizadas essas avaliações periódicas nos mesmos períodos das coletas de amostras destrutivas, menos quantificação da matéria fresca e seca.



Figura 12: Avaliação de crescimento vegetativo da cultura do sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.

A caracterização da produtividade do sorgo Ponta Negra foi realizado aos 96 DAP na área de plantio (Figura 13) e nos lisímetros. Na área de plantio foram selecionadas 10 parcelas aleatoriamente de 1,5 x 2,0 m, representando uma área de 3 m², e dentro da parcela foram avaliadas todas as plantas e na área do lisímetros foram coletadas todas as

plantas, representando uma área de 2,7 m². Foram avaliados: matéria fresca total e matéria seca total (kg ha⁻¹), obtido pela soma do caule, folhas e panícula do sorgo; e o rendimento de grãos (kg ha⁻¹). Os dados obtidos foram submetidos a intervalo de confiança a 95% de probabilidade. O programa utilizado para o procedimento foi o EXCEL.



Figura 13: A cultura do sorgo Ponta Negra ao fim do ciclo, Ipanguaçu/RN, 2012.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Na prática, porém, nenhum sistema é capaz de aplicar água de maneira perfeitamente uniforme. Na Tabela 5 estão apresentados os resultados da avaliação do sistema por aspersão no qual foram coletados os dados para a determinação do CUC, CUD e CUE e seus respectivos resultados e classificações.

Tabela 5: Resultado e classificação da avaliação do sistema de irrigação para determinação do CUC, CUD e CUE.

Método	Resultado	Classificação
CUC	71,20	Razoável

CUD	64,31	Razoável
CUE	63,28	Ruim

A uniformidade de distribuição é normalmente determinada pelo CUC, CUD e pelo CUE. Neste experimento, o CUC foi maior que o CUD e o CUE.

De acordo com a metodologia de Mantovani (2001) os valores encontrados para o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) são razoáveis, enquanto o Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE) foi ruim, mostrando em geral a má distribuição da água de irrigação na área.

Na prática, significa que aproximadamente 71,2% da área recebeu uma lâmina superior ou igual à lâmina média de aplicação (lâmina bruta). Uma das explicações pelos os resultados serem classificados como razoável e ruim, foi a grande variação entre a vazão individual dos aspersores, além de imperfeições na sobreposição de lâminas dos aspersores. É importante ressaltar que a velocidade do vento no momento da avaliação foi de grande intensidade, com valores em torno de 5 m s^{-1} .

Nota-se que o CUD foi inferior ao CUC, que segundo SOUZA et al. (2005) o CUD é um coeficiente sensível a pequenas variações na distribuição de água de um sistema de irrigação. A diferença entre o CUC e o CUD obtidos no teste realizado em agosto de 2012, pode ser explicada pelo fato que a metodologia do CUD, utiliza 1/4 dos menores valores de precipitação, resultando em um CUD de 64,31%. Todavia, no cálculo do coeficiente proposto por Christiansen (1942) ocorre uma diluição dos valores, uma vez que, consideram-se todas as precipitações, fazendo com que uma precipitação compense a outra.

4.2 CALIBRAÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS LISÍMETROS

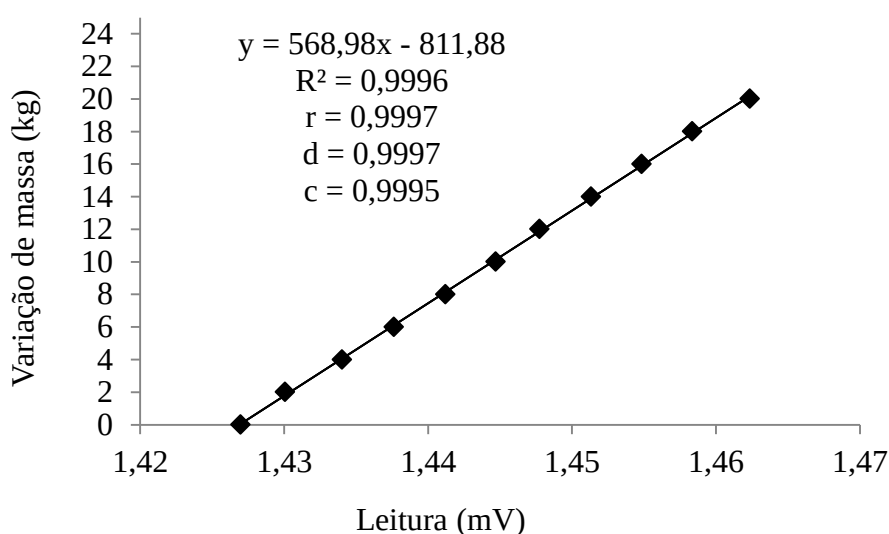
Os resultados dos ensaios de calibração (Figura 14) realizados nos dois lisímetros de pesagem demonstraram que a correlação das massas-padrão utilizadas com as leituras das células de carga, em ambos os lisímetros, apresentou uma resposta linear, onde os coeficientes de determinação (R^2) encontrados foram semelhantes, com valores de 0,9996 e 0,9998, respectivamente.

A maior correlação observada no lisímetro 2 indica uma precisão um pouco maior em relação ao lisímetro 1. O maior coeficiente angular da reta ($581,29 \text{ kg mV}^{-1}$) da calibração do lisímetro 2 em relação ao lisímetro 1 ($568,98 \text{ kg mV}^{-1}$) indica que para se obter uma mesma variação de sinal na célula de carga houve necessidade de maior aplicação de massa(ou de variação de umidade no solo) no lisímetro 2. Portanto, a sensibilidade do lisímetro 1 é um pouco superior.

Esses resultados sugerem que as variações das massas encontram-se estreitamente relacionadas com as variações das voltagens, medidas nas células de carga dos lisímetros, em suma, 99,96% e 99,98% da variação das leituras lisimétricas podem ser explicadas pelas respectivas adição/subtração das massas-padrões e apenas 0,04% e 0,02%, devido ao acaso. O erro padrão encontrado para os lisímetros foram de 0,22792 kg, o que equivale a uma lâmina de 0,084 mm e 0,116258 kg, o que equivale a uma lâmina de 0,043 mm, respectivamente.

Miranda et al. (1999), trabalhando com instalação e calibração de um lisímetro de pesagem em um projeto de irrigação em Paraipaba-CE, encontrou um erro de 1,32 kg, correspondente a uma lâmina de 0,6 mm e ao analisar os dados obtidos pelo carregamento das massas padrão de 200 g mostrou que o lisímetro apresenta melhor sensibilidade às variações de massa a partir de 400 g, o que equivale a uma lâmina d'água de 0,18 mm.

Lis 1



Lis 2

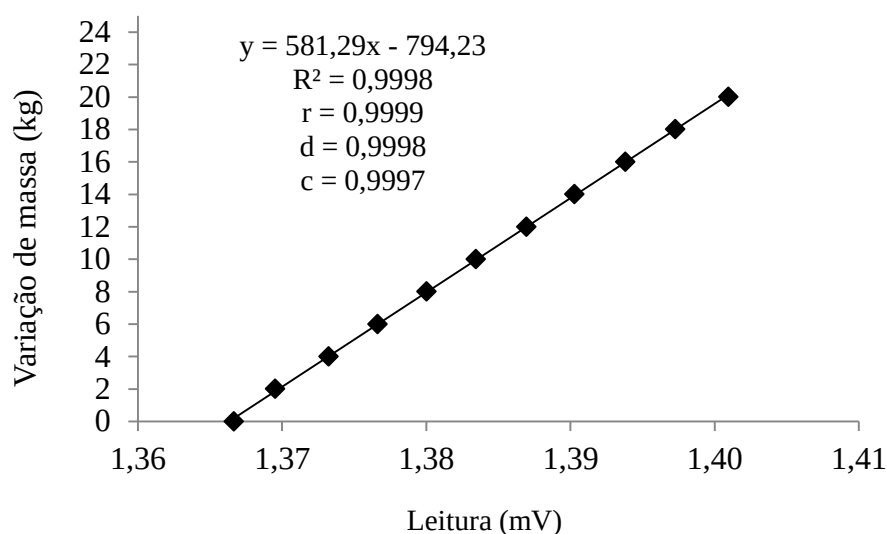


Figura 14: Calibração dos dois lisímetros instalados na área experimental de Ipanguaçu/RN, 2012.

Howell et al. (1991), indicam que a exatidão de um lisímetro depende da sua resolução, que é o número de casas decimais da mensuração; da precisão, que é a estabilidade da mensuração; e da acurácia, que é a diferença entre o valor mensurado e o valor verdadeiro.

A calibração do lisímetro consiste em uma das mais importantes etapas realizadas durante a implantação do equipamento, uma vez que a má calibração do aparelho leva a interpretações inconsistentes dos valores de evapotranspiração (CAMPECHE, 2002; CARVALHO et al., 2007).

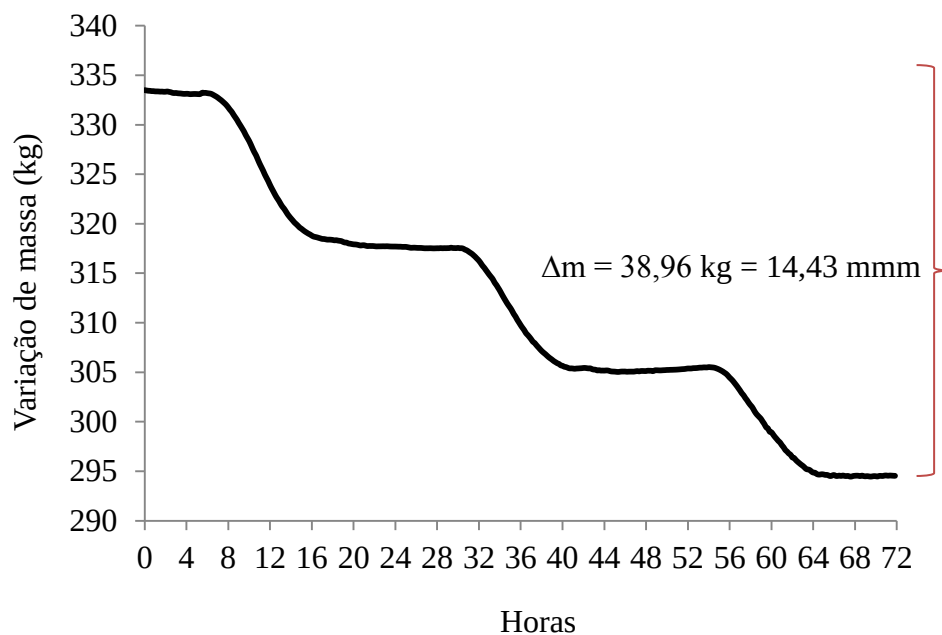
Segundo Vescove e Turco (2005), o erro, devido ao uso inadequado de instrumentos de medidas, em geral, conduz ao manejo inadequado da água, afetando muitas vezes a produção agrícola.

Devido à importância das medidas lisimétricas para determinar a demanda hídrica das culturas, faz-se necessário a utilização de indicadores estatísticos. Verifica-se que os valores de r , d e c são muito próximos de 1 (“desempenho ótimo”), podendo-se concluir que as medições foram realizadas sem o risco de ocorrer distorções nas leituras obtidas e estimadas em relação ao valor real. Resultados semelhantes foram obtidos por Melo (2009).

A Figura 15 apresenta o funcionamento dos lisímetros em condições de perda de massa (ETc) de 30 a 2/10/2012, já a Figura 16 representa as condições de ganho de massa (irrigação) de 05 a 07/09/2012 e a Figura 17 apresenta o funcionamento médio dos

lisímetros em condições de perda (ETc) e ganho de massa (irrigação) ao longo do ciclo da cultura do sorgo BRS Ponta Negra.

Lis 1



Lis 2

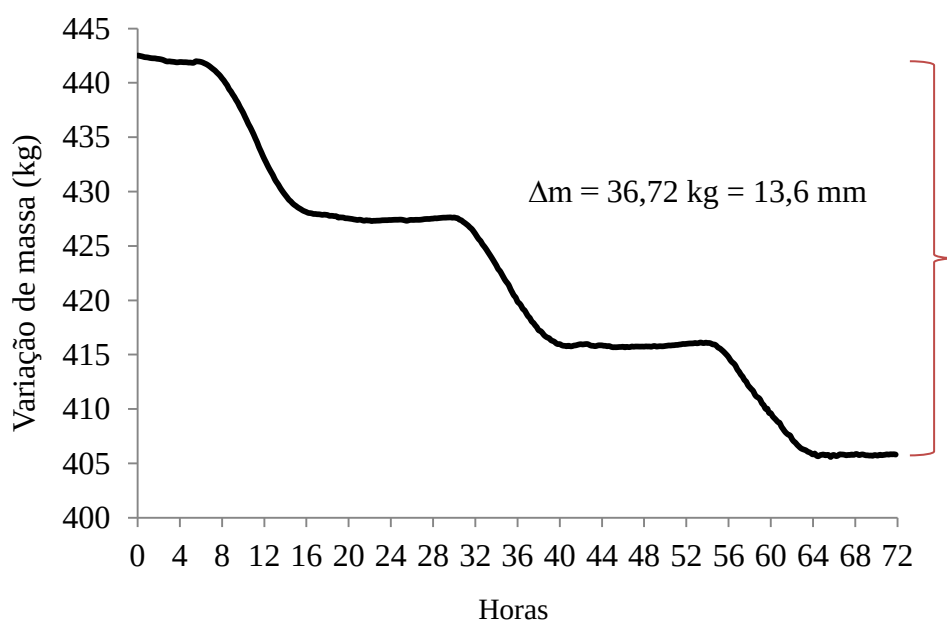
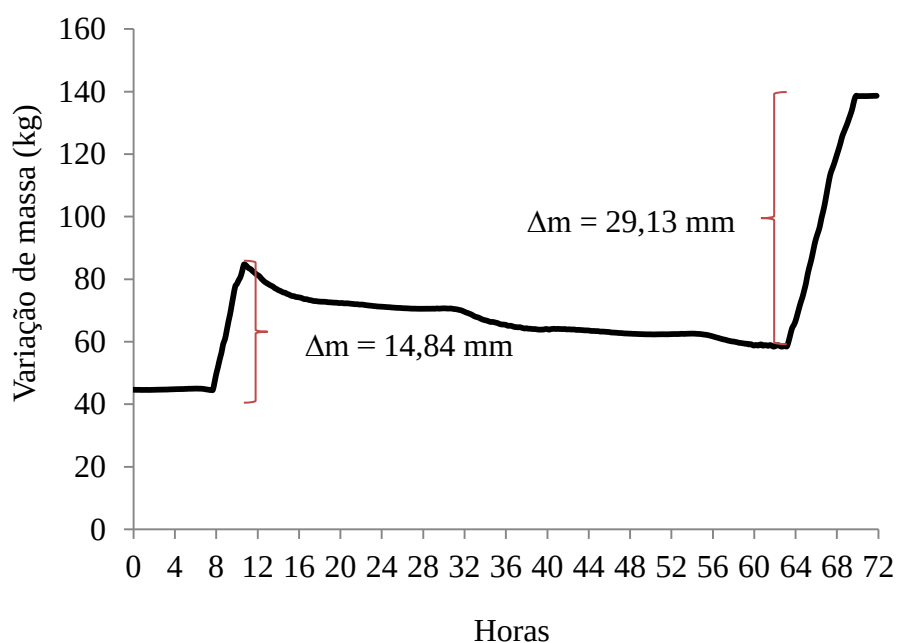


Figura 15: Variação de massa dos lisímetros 1 e 2 em resposta a ETC do Sorgo entre os dias 30 e 02/10/2012, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Lis 1



Lis 2

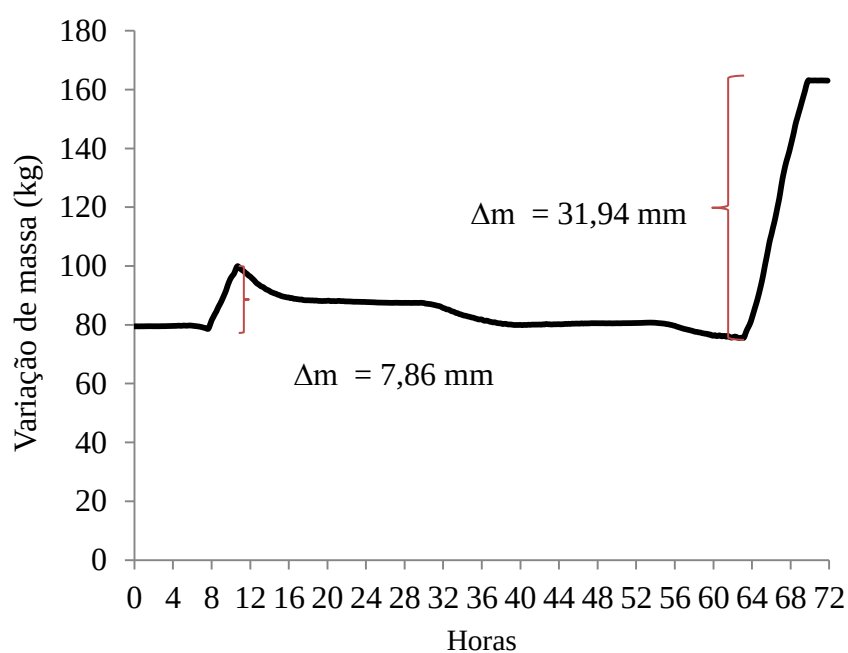


Figura 16: Variação de massa dos lisímetros 1 e 2 em resposta a irrigação no cultivo do Sorgo entre os dias 05 e 07/09/2012, em Ipanguaçu/RN, 2012.

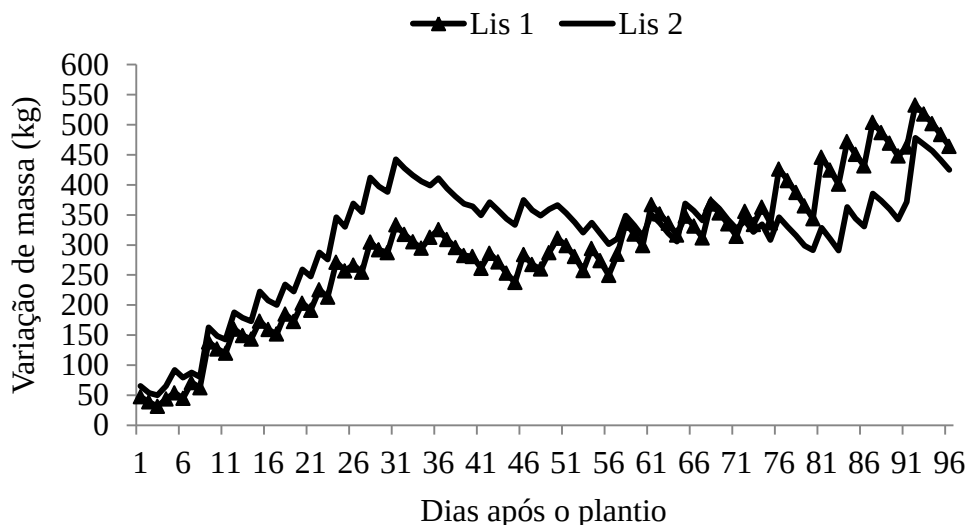


Figura 17: Variação de massa dos lisímetros em resposta as perdas (ETc) e aos ganhos de massa (irrigação) durante o ciclo do Sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.

4.3 DADOS CLIMÁTICOS

Pode-se observar na Figura 18 a variação da temperatura máxima, mínima e média diária durante o ciclo da cultura sorgo na área experimental. Verificar se que a temperatura média diária variou entre 26,09°C e 30,11°C e com uma temperatura média de 28,19°C, estando bem próxima a ideal para o desenvolvimento do sorgo que está por volta de 33 a 34°C.

A amplitude da temperatura máxima foi de 32,48 a 37,79 com média de 32,48 °C. Já para a temperatura mínima, a amplitude foi de 17,62 a 24,37 com média de 21,07 °C. As temperaturas máximas e mínimas absolutas foram atingidas aos 74 e 2 dias DAP, respectivamente.

As temperaturas máximas e mínimas absolutas foram dentro da faixa consideradas ideais, pois acima de 38°C e abaixo de 16°C, a produtividade decresce. As baixas temperaturas reduzem a área foliar, perfilhamento, altura, acumulação de matéria seca e um atraso na data de floração. Isto acontece devido a uma redução da síntese de clorofila, especialmente nas folhas que se formam primeiro na planta jovem, com consequente redução da fotossíntese (DINIZ, 2010). De acordo com a literatura, a alta temperatura também causa alterações fisiológicas que são a redução da fotossíntese, aumento da

respiração, redução na estabilidade das membranas celulares, desnaturação de proteínas e perda da atividade enzimática e redução do crescimento e rendimento da planta.

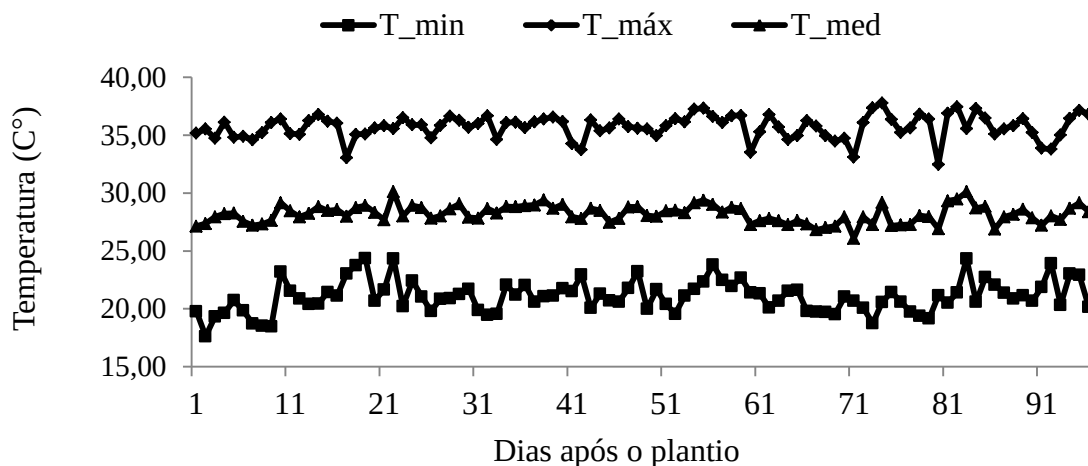


Figura 18: Temperatura média, máxima e mínima diária durante o ciclo da cultura do sorgo entre o dia 31/08 a 04/12/12, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Na Figura 19, verifica-se a variação diária da umidade relativa do ar média, máxima e mínima. A umidade relativa média do ar apresentou uma amplitude de 43,1 a 68,94 com média de 55,26%. Para a umidade relativa máxima, a amplitude foi de 64,88 a 94,2 com média de 82,22%, já a umidade relativa mínima apresentou uma variação de 17,48 a 41,46 com média de 27,24%. Observa-se na Figura 19 que aos 91 dias após o plantio ocorreu o dia que a umidade relativa foi muito alta, máxima de 94,2% e mínima de 39,13%, esse fato pode ser explicado por causa da baixa temperatura nesse dia, em um dia que houve bastante nebulosidade, fato explicado por Klar (1988), de que a umidade do ar é uma variável que depende da temperatura e age indiretamente sobre a evapotranspiração. Sendo que à medida que a temperatura do ar decresce numa mesma umidade absoluta, haverá aumento na umidade relativa e queda na evaporação. E observa-se na Figura 21 que nesse mesmo dia (91 DAP) a radiação global foi de $13,71 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ o que comprova que houve bastante nebulosidade.

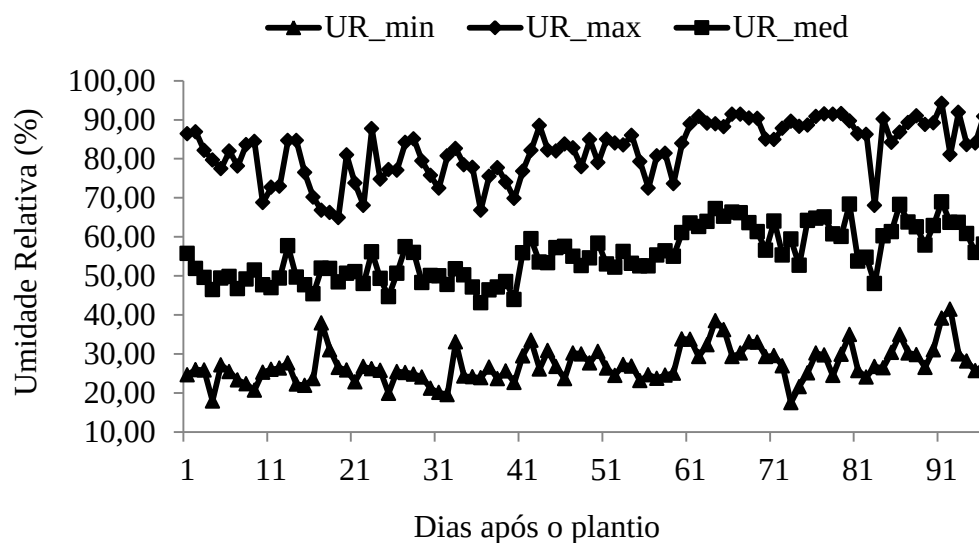


Figura 19: Umidade relativa média, máxima e mínima diária durante o ciclo da cultura do sorgo, em Ipangaçu/RN, 2012.

A Figura 20 representa a variação diária da velocidade média do vento que variou entre $1,16 \text{ m s}^{-1}$ a $3,30 \text{ m s}^{-1}$, sendo que a velocidade média ficou em torno de $2,15 \text{ m s}^{-1}$. Esses valores baixos de velocidade do vento, ao fim do ciclo da cultura, coincidem com valores baixos de radiação global, os quais estão associados a dias com nebulosidade. Segundo Pereira et al. (2002a), em dias de ocorrência de ventos muito fortes há problemas operacionais com o uso de lisímetros de pesagem. Isso ocorre porque em dias com ventos fortes há grande variação da massa do lisímetro, não podendo se diferenciar se a variação ocorreu pela variação da quantidade de água ou pelo vento. Segundo Bergamaschi et al. (1997), outro problema que dificulta bastante a qualidade das medidas da evapotranspiração é o efeito da variação brusca da velocidade do vento, mesmo para dias sem chuva. Quanto mais sensível for o sistema de pesagem maior será o efeito do arrasto provocado pelo vento, transferindo momento para a superfície com consequente oscilação na massa do sistema, mas sem que tenha realmente ocorrido saída ou entrada de água no lisímetro.

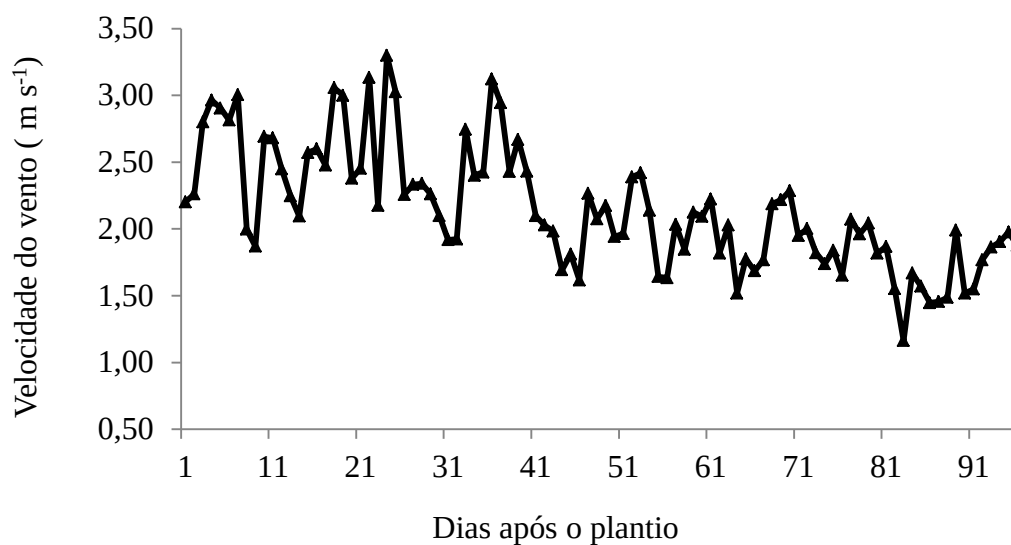


Figura 20: Velocidade do vento média diária registrada durante o ciclo da cultura do sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Observa-se na Figura 21 a variação na radiação global total diária, no qual se observa oscilando entre 13,71 e 25,59 $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ com uma média de 21,95 $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$.

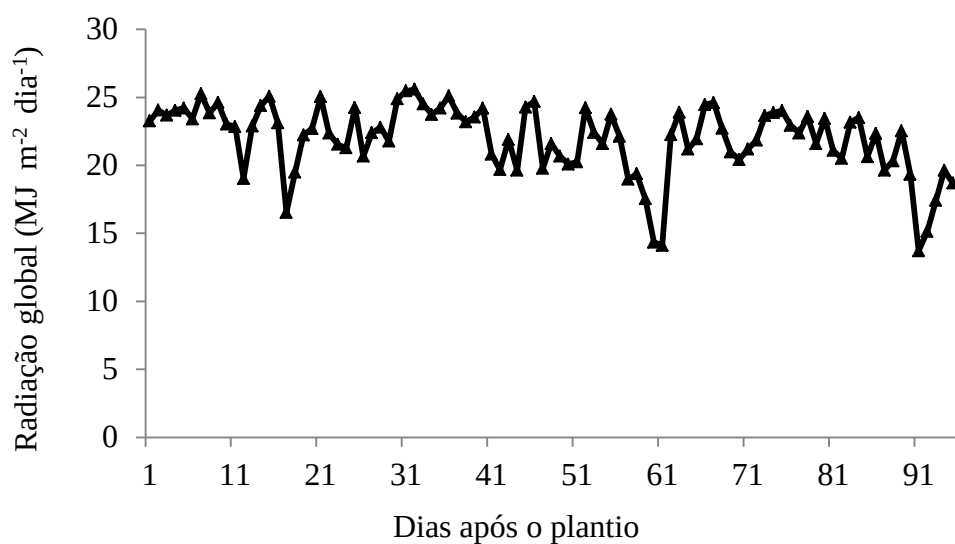


Figura 21: Radiação global diária durante o ciclo da cultura do sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Não houve precipitação, ou seja, ocorrência de chuva durante o ciclo do sorgo BRS Ponta Negra na área experimental entre os dias 31/08 a 04 de dezembro de 2012. Segundo

Campeche et al. (2011) em dias que ocorre, precipitações ao longo do dia e drenagem contínua, neste dia verifica-se um crescimento da variação da massa do sistema nestas circunstâncias é aconselhável que os dados desse período sejam descartados em face da dificuldade na determinação dos valores de evapotranspiração.

Num experimento com a cultura do sorgo BRS Ponta Negra irrigado na área experimental da EMPARN-Apodi nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013, praticamente no mesmo período de cultivo e no mesmo clima semiárido, verificou-se que a temperatura média, máxima e mínima foram 28,87; 37,8 e 21,7 ° C, a umidade relativa do ar variou entre 68,77% e 48,62% com uma média absoluta de 57,69%, a velocidade média diária do vento variou entre 1,71 e 3,52 m s⁻¹ e com uma média absoluta de 2,91 m s⁻¹. A radiação global diária variou entre 12,93 e 29,03 MJ m⁻² dia⁻¹, com uma média de 25,19 MJ m⁻² dia⁻¹ (LIMA, 2013).

De acordo com esses resultados, as variáveis climáticas que apresentam resultados superiores em relação aos resultados apresentados por esse estudo, são a temperatura média, máxima e mínima, radiação global média e a máxima, velocidade do vento média, umidade relativa média e a mínima diária. Essas variações podem ser explicadas devido à diferença entre a localização geográfica e período de cultivo que se estendeu até o mês de janeiro, evidenciando que as condições climáticas apresentaram-se diferentes. Podendo ser explicado pela maior proximidade do oceano da área experimental de Ipanguaçu e por está situado a 16 de altitude, refletindo numa menor radiação global, por apresentar áreas com mais nebulosidades do que a área experimental de Apodi. Já os dados da área experimental de Apodi apresenta uma altitude de 150 m, e está a mais de 100 km do litoral.

4.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ET_c)

A Figura 22 apresenta a variabilidade da ET_c medida por lisímetria e ET_o estimada pelo método Penman-Monteith-FAO ao longo do ciclo da cultura do sorgo. Houve grande variabilidade dos valores de ET_o, sendo o valor máximo durante o experimento de 7,84 mm dia⁻¹ e o menor valor de 3,99 mm dia⁻¹, com o valor total para todo o ciclo de 597,40 mm. Os fatores que influenciaram para que no dia 5 de outubro e 29 de novembro, aos 36 e 91 dias após o plantio, houvesse o valor máximo e mínimo de 7,84 e 3,99 mm dia⁻¹, foi a velocidade do vento que foi de 3,12 e 1,55 m s⁻¹, radiação global total de 25,09 e 13,71 MJ

$\text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, umidade relativa média de 43,1 e 68,94 % e uma temperatura média de 28,91 e 27,21 °C, respectivamente.

Ao fim do ciclo encontrou-se, a evapotranspiração total para cultura de 536,87 mm para o lisímetro 1, tendo como o valor máximo de 8,96 mm no dia 24 de outubro, a cultura com 55 DAP, estando no fim do estágio de desenvolvimento vegetativo e na eminência de entrar na fase de florescimento onde a planta apresenta a maior evapotranspiração, e o mínimo de 2,03 mm no dia 16 de setembro, 17 DAP podendo ser justificado para um valor baixo a irrigação sendo feita no horário de 10:40 a 16:00 onde ocorre maior consumo de água no dia, em qual há maior variação da massa, prejudicando assim mensuração do consumo hídrico da planta, além disso, houve uma das menores radiações média diária registrada ao longo do ciclo da cultura de $16,53 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, contribuindo assim para um menor ETc já que na fase inicial a evaporação é bem maior que a transpiração da planta.

Já no lisímetro 2, ao término do experimento encontrou-se uma evapotranspiração total para a cultura de 462,91 mm, menor que a do lisímetro 1, podendo ser justificado devido na camada superficial do solo ser mais arenosa, comprometendo assim a umidade do solo, bem como a fertilidade do mesmo, o que ocasionou uma diminuição no desenvolvimento vegetativo, como também a redução na produtividade, consequentemente, levando uma menor taxa de evapotranspiração. Sendo que a ETc máxima foi aos 84 DAP (22 de novembro) de 7,13 mm, podendo ser explicado pelo atraso do ciclo da cultura e a mínima de 1,42 mm, registrado no mesmo dia do valor mínima da ETc encontrado no lisímetro 1.

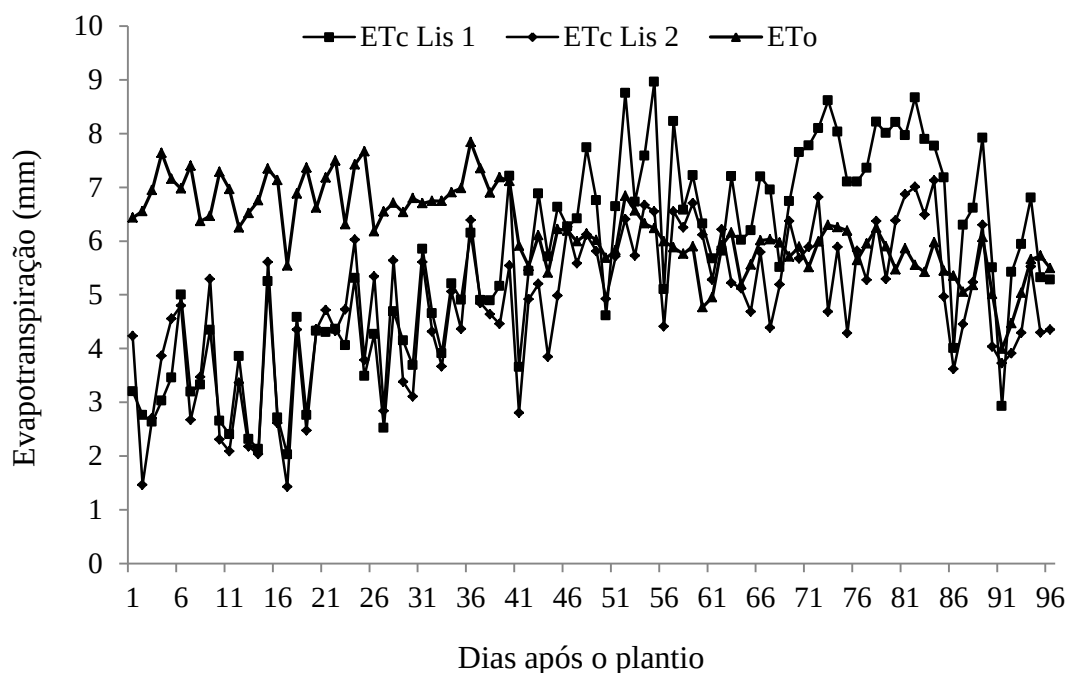


Figura 22: Variação da evapotranspiração da cultura medida (ETc Lis 1 e ETc Lis 2) e evapotranspiração de referência (ETo), observada durante o experimento do sorgo, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Na Figura 23 representa a variabilidade da ETc medida por lisímetria encontrada pela média dos dois lisímetros e a ETo estimada pela metodologia da FAO. A ETc apresentou uma variação de $1,72 \text{ mm dia}^{-1}$ a $7,84 \text{ mm dia}^{-1}$, totalizando no final do ciclo $499,89 \text{ mm}$ medida pelos lisímetros (Figura 24).

Kanemasuet al. (1976), citando dados de diversos autores, mostraram que o consumo de água pela cultura do sorgo varia de 350 a 720 mm. Assis e Verona (1991) trabalhando com consumo de água e coeficiente de cultivo para o sorgo sacarino na localidade de Pelotas-RS encontraram valor para evapotranspiração da cultura do sorgo sacarino de 460 mm para um ciclo total de 130 dias.

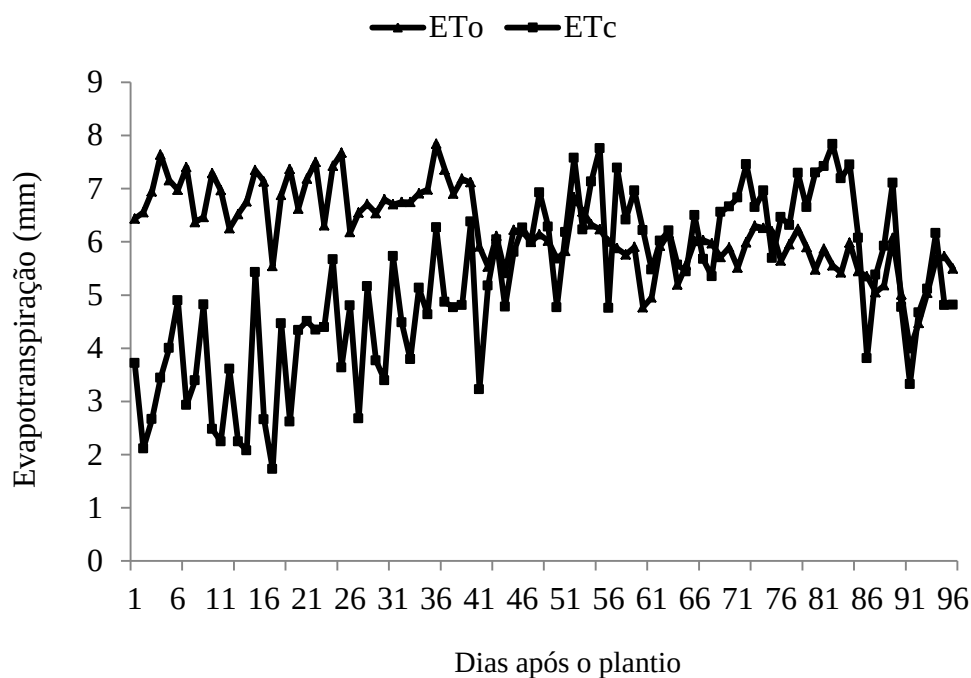


Figura 23: Variação da evapotranspiração da cultura média (ETc) e evapotranspiração de referência (ETo), observada durante o ciclo da cultura, em Ipanguaçu/RN, 2012.

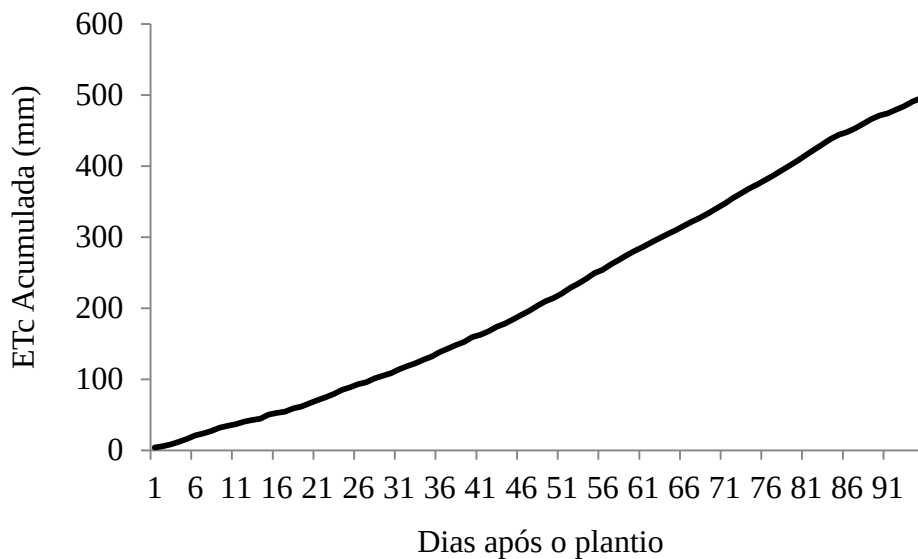


Figura 24: Evapotranspiração da cultura acumulada (ETc), observada durante o experimento, em Ipanguaçu/RN, 2012.

O ciclo do sorgo pode ser dividido em quatro estádios de desenvolvimento, distribuídos em três classes de demanda hídrica: Kc inicial (início do estabelecimento da cultura, nº de dias correspondente aos primeiros 10% do desenvolvimento vegetativo da

cultura), Kc crescimento (pleno desenvolvimento da cultura, nº de dias correspondentes a 70-80% de desenvolvimento vegetativo) e Kc final (período de maturação), permitindo a verificação das tendências de evolução dos coeficientes de cultivo (ALLEN et al., 2006). Portanto, a definição das fases fenológicas foi feita de acordo com observações realizadas em campo e caracterizadas conforme a curva do Kc representada na Figura 25.

Na Tabela 6, encontra-se o tempo de duração de cada estágio fenológico da cultura do sorgo nas condições climáticas de Ipanguaçu/RN, no qual a fase inicial teve uma duração de 21 dias, o desenvolvimento vegetativo de 36 dias, floração e frutificação com 27 dias e de maturação de 12 dias, que acumulados totalizaram 96 dias para o ciclo total da cultura. Podem-se observar também os valores da evapotranspiração de cada fase fenológica da cultura 70,39; 190,99; 176,55 e 61 mm, respectivamente, com um total de 499,89 mm, medida pelos lisímetros.

Em um experimento realizado em Cuba com sorgo para alimentação humana, obteve um valor total para a ETc do sorgo de 256,73 mm e uma ETo de 373,9 mm, no município de San Miguel del Padrón, valores diferentes do encontrado no experimento, provavelmente influenciado pela questão climática (MONTERO, 2008).

Na Tabela 6 estão os valores médios de Kc's medidas por lisimetria (fase I - 0,49; fase II - 0,82; fase III - 1,13; fase IV - 0,98) e a sua variação do coeficiente da cultura (Kc) observada durante o ciclo do Sorgo BRS Ponta Negra representada na Figura 25. Em relação ao Kc encontrado em cada fase a que obteve maior consumo foi a fase de floração/frutificação com o valor de 1,13 e justifica-se pelo fato das condições de elevada demanda evapotranspirométrica, com alto metabolismo da planta nessa fase, também comprovado por Lima et al. (2013) que observou valor de 1,14 para a fase de floração/frutificação em experimento realizado na área experimental da EMPARN-Apodi com a cultura do sorgo BRS Ponta Negra. A maior evapotranspiração foi obtida na fase de floração e frutificação, enquanto que a menor foi na fase inicial. Os valores foram próximo na fase vegetativo e na maturação fisiológica.

Esses valores de Kc's são semelhantes dos encontrados por Tyagi et al. (2000) no cultivo do sorgo em um experimento em Karnal, Índia, em que o clima é semiárido (fase I - 0,53; fase II - 0,82; fase III - 1,24; fase IV - 0,85).

Assis e Verona (1991) encontraram valores diferentes em um experimento de consumo hídrico e Kc para a cultura do sorgo em Pelotas-RS com a ETo determinada pelos métodos Radiação, Penman e Tanque classe "A" com um valor na fase I entre 0,25 a 0,29 e

um valor máximo entre 1,04 e 1,11, com uma média de 0,68; 0,74; 0,76 para o método Radiação, Penman e Tanque classe A, respectivamente.

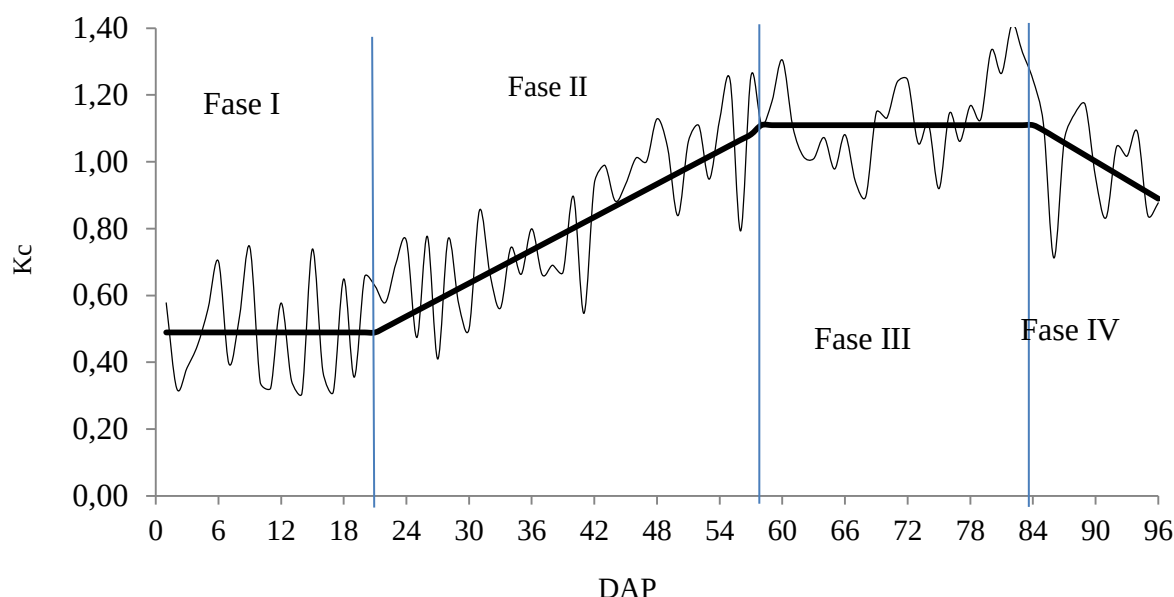


Figura 25: Variação do coeficiente da cultura (K_c) observada durante o ciclo vegetativo do Sorgo BRS Ponta Negra, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Em relação à variação entre os lisímetros (Lis 1 e Lis 2), os valores variaram um pouco, os valores encontrados para cada fase foram, respectivamente: Inicial – (0,489-0,489); Desenvolvimento vegetativo – (0,869-0,775); Floração/Frutificação – (1,256-1,01); Maturação – (1,10-0,875), tendo sua maior variação para a fase de floração e maturação e a menor variação para a fase inicial.

Na Tabela 6 observa-se os valores finais da evapotranspiração total da cultura para o método do lisímetro e do K_c dual FAO, em que o dual apresentou uma ET_c total de 535,33 mm enquanto que nos lisímetro a ET_c acumulada foi de 499,89 mm, tendo uma diferença de 35,44 mm. Em um experimento na área experimental da EMPARN-Apodi com a cultura do sorgo BRS Ponta Negra irrigado, no mesmo período de cultivo encontrou valores finais do consumo da evapotranspiração total da cultura para o método do lisímetro e o dual, em que o dual apresentou uma ET_c total de 663,40 mm enquanto que nos lisímetro a ET_c acumulada foi de 564,11 mm, tendo uma diferença de 99,29 mm (LIMA,2013). O que demonstram a importância de conhecer com precisão a real necessidade hídrica da cultura e dos seus coeficientes de cultivo para cada região sob condições climáticas diferentes.

Pode-se observar a variação entre o Kc Dual FAO, em cada fase, respectivamente: Inicial – (0,56-0,80); Desenvolvimento vegetativo – (0,89-1,05); Floração/Frutificação – (1,04-1,08); Maturação – (0,61-0,81), tendo sua maior variação para a fase inicial, podendo ser justificada pelo coeficiente de redução da evaporação, já que o mesmo depende do acúmulo de lâmina de água evaporada da superfície do solo definido diariamente, essa evaporação acontece à taxa potencial determinada pela energia disponível a superfície do solo, nesse estágio, o coeficiente de redução da evaporação (Kr) é igual a 1, isso ocorre geralmente depois das irrigações ou precipitações. E no segundo estágio a água contida na superfície do solo se torna limitante para o processo evaporativo, o Kr decresce e torna-se zero quando a quantidade total de água evaporável da superfície do solo se extingue. Esse fato ocorreu alternadamente durante a fase inicial, já que foi adotado durante a fase inicial um turno de rega de 2 dias. O fator de cobertura nessa fase é muito baixo e a fração da superfície solo umedecida através da irrigação é igual ($f_w = 1$), resultando grande variação dos Kc's iniciais, ou seja, a maior disponibilidade de água no solo associou-se a uma maior disponibilidade da energia disponível para o processo de evapotranspiração. A menor variação foi observada para a fase de desenvolvimento e floração e frutificação.

Tabela 6: Valores médios da evapotranspiração da cultura (ETc LIS), evapotranspiração de referência (ETo), coeficiente de cultivo pelo lisímetro (Kc LIS) e pela FAO (Kc Dual) do sorgo irrigado nos seus diferentes estádios fenológicos, sob as condições de Ipanguaçu/RN, 2012.

Estádio fen.	Duração (dias)	ETc LIS (mm)	ETc Dual (mm)	ETo (mm)	Kc LIS	Kc Dual
I-Inicial	21	70,39	97,71	143,79	0,49±0,067	0,68±0,13
II-D. Veget.	36	190,99	228,29	235,03	0,82±0,072	0,97±0,08
III-Flor./Frut.	27	176,55	165,28	156,10	1,13±0,05	1,06±0,02
IV- Maturação	12	61,95	44,05	62,47	0,98±0,082	0,71±0,1
TOTAL	96	499,89	535,33	597,47		

± - Dispersão dos dados para um intervalo de confiança com 95% de probabilidade.

A Figura 26 apresenta as curvas dos Kc's diários pelo lisímetro e dual ao longo do ciclo da cultura obtido neste estudo.

Os valores dos K_c 's obtidos pelo lisímetro apresentaram-se próximos dos obtidos pela metodologia dual da FAO, em todas as fases fenológicas, com maior discrepância no final da fase I, início da fase II e na Fase IV. Quando se compara com a média dos K_c 's em cada fase, os valores são próximo dos obtidos pela metodologia do K_c dual-FAO.

No que diz respeito à duração das fases fenológicas das plantas nos lisímetros e da área de plantio, estas diferiram, no entanto, as plantas da área de plantio em cada fase apresentaram-se com maior vigor (maior altura, diâmetro de caule, folha mais largas e escuras, maior rendimento de grão e matéria fresca e seca).

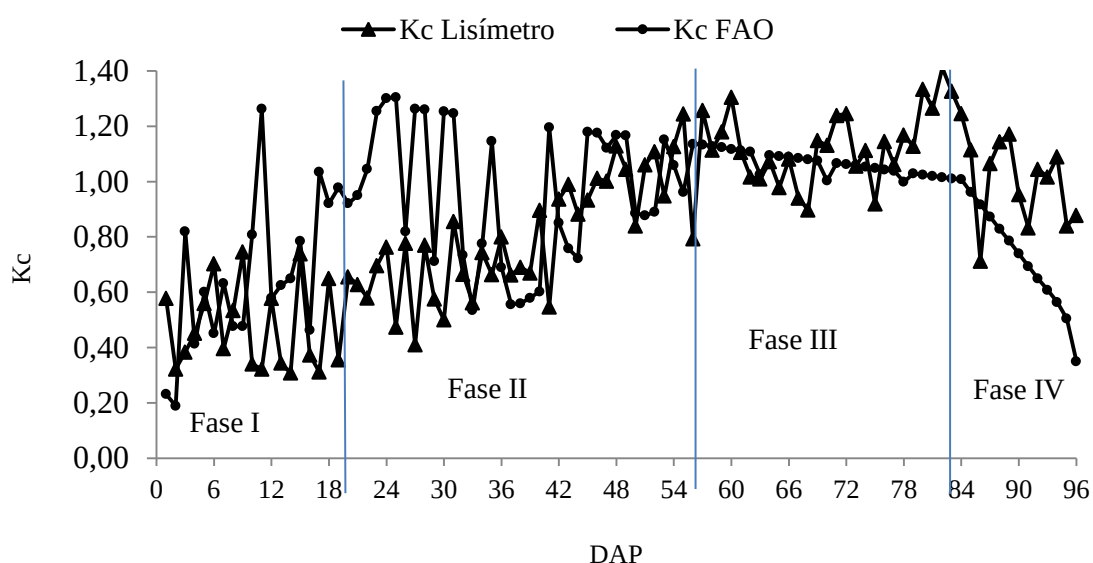


Figura 26: Variação do coeficiente de cultivo medida pelo lisímetro e pelo K_c Dual da FAO recomendada, Ipanguaçu/RN, 2012.

Na Figura 27 é apresentada a variabilidade da E_{To} , E_{Tc} medida por lisímetria e a E_{Tc} estimada pela metodologia da FAO. Evapotranspiração da cultura diária ao longo do ciclo da cultura obtido por meio desse estudo. Observa-se que na Fase I há o menor consumo de água pela planta, sendo quase na totalidade, pela evaporação do solo, a Fase II há um aumento gradativo da E_{Tc} , sendo ocasionado pelo crescimento da planta, na Fase III ocorre o maior consumo de água pelas plantas, por causa do enchimento dos grãos e logo após a fase IV, há uma diminuição do consumo em relação a fase anterior. Segundo Rodrigues, (2003); Rosenberg et al. (1983), observa-se ainda que, em geral, a evapotranspiração da cultura apresentou valores mais elevados após as irrigações ou chuva quando, a maior disponibilidade de água no solo associou-se a uma maior disponibilidade da energia disponível para o processo de evapotranspiração.

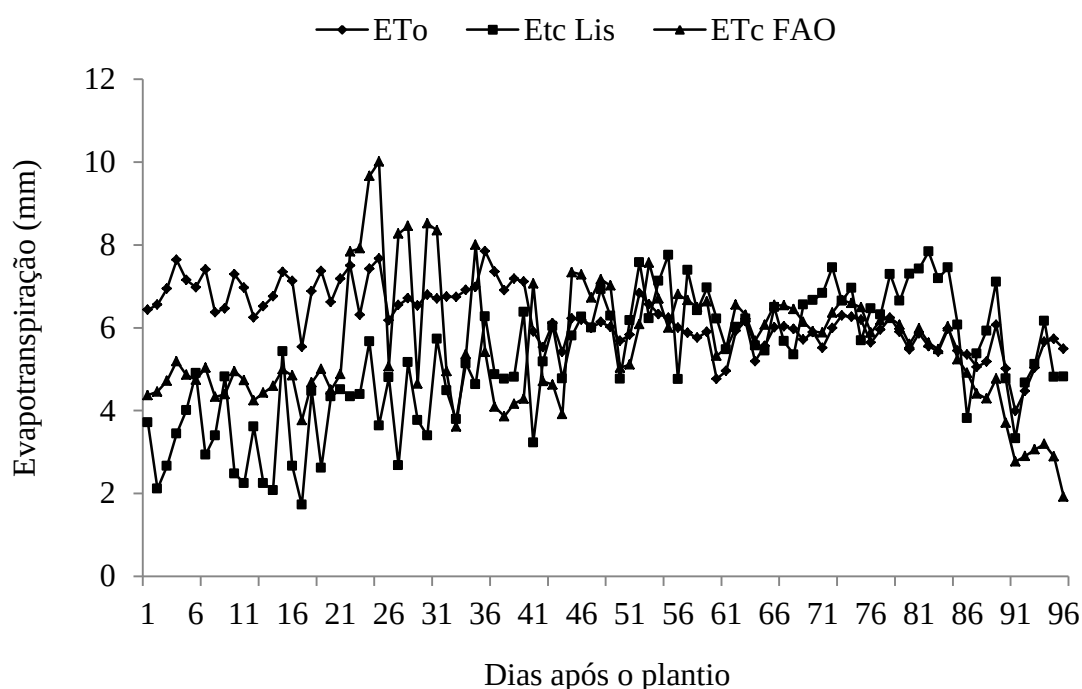


Figura 27: Evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração da cultura medida (ETc LIS) e evapotranspiração da cultura estimada (ETc FAO) observada durante o ciclo do sorgo em, Ipanguaçu/RN, 2012.

Na Tabela 7 estão apresentados os valores dos índices estatísticos associados a ETc medida pelos lisímetros, em relação às estimativas obtidas pelo método da FAO, com base em dados de escala diária. Em relação ao coeficiente de correlação “r” o resultado foi de 0,27 e o índice de concordância “d”, em que seu valor pode variar 0 a 1, foi de 0,98, sendo próximo ao máximo. Observa-se que a metodologia dos lisímetros em relação ao dual da FAO apresentou desempenho “péssimo” ($c = 0,26$), segundo o índice proposto por Camargo e Sentelhas (1997). Resultados semelhantes foram encontrados por Lima et al. (2013), valores dos índices estatísticos associados às medidas efetuadas pelo lisímetro, em relação às estimativas obtidas pelo método da FAO, com base em dados de escala diária apresentou desempenho “Mau” ($c = 0,31$), segundo o índice proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 7: Indicadores estatísticos “r”, “d” e “c” para a ETc medida pelos lisímetros e a ETc estimada pela metodologia da FAO, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Indicadores estatísticos	Diário
--------------------------	--------

r	0,27
d	0,98
c	0,26

4.5 GRAUS DIAS ACUMULADOS

Na Tabela 8 são apresentados os valores de graus-dias acumulados (GD) por fase fenológica, a duração das fases fenológicas, que foi determinada pelo crescimento das plantas e a temperatura média de cada estágio fenológico na cultura do sorgo nas condições climáticas de Ipanguaçu/RN. O total de graus-dia necessários para completar o ciclo do sorgo da semeadura-maturação foi de 1170,64 GD utilizando como temperatura basal 16 °C. A fase inicial, desenvolvimento vegetativo, floração/frutificação e maturação tiveram 254,01; 451,6; 319,62; 145,41 GD, respectivamente. Dados semelhantes foram observados por Lima et al. (2013), o que obteve total de graus-dia necessários para completar o ciclo do sorgo de 1202,7 GD, na fase I 264,1 GD, na fase II 399,9 GD, na fase III 366,4 GD e na fase IV 172,3 GD.

Segundo Coelho e Dale (1980), a temperatura afeta o desenvolvimento da planta em vários processos como: crescimento da raiz, absorção de água e nutrientes, respiração, metabolismo, fotossíntese, translocação de fotossintetizados, entre outros.

Tabela 8: Número de dias e Graus-dia acumulado para cada fase fenológico da cultura do Sorgo BRS Ponta Negra, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Estádios fenológicos	Duração (dias)	GD (°C)
I-Inicial	21	254,01
II-D. Vegetativo	36	451,6
III-Floração/Frutificação	27	319,62
IV-M. Fisiológica	12	145,41
Total	96	1170,64

4.6 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO SORGO

Durante o ciclo da cultura do sorgo BRS Ponta Negra, a altura máxima das plantas foi de 2,57 m, aos 76 DAP, sendo que, logo após, já na senescência foi observada uma redução, chegando a 2,27 m aos 91 DAP. Estando representada pela Figura 28, que mostra o comportamento da altura de planta na cultura durante o experimento, a qual obteve uma tendência polinomial de terceira ordem, com uma equação $y = -0.0009\text{dias}^3 + 0.0769\text{dias}^2 - 3.572\text{dias} + 79.591$, $R^2 = 0,9954$.

De acordo com o comunicado técnico da EMBRAPA (2007) em um experimento realizado em São Gonçalo do Amarante comparando o BRS Ponta Negra com outras cultivares, encontrou-se a altura final para o BRS Ponta Negra de 1,95 m, sendo resultado inferior ao encontrado na área experimental, podendo ser justificado pela alta fertilidade do solo, associadas com o manejo da cultura durante o ciclo. Magalhães et al. (2003) estudando a fisiologia da planta de sorgo obteve para altura das plantas de 1,60 vs. 1,49 m para 80 e 60 cm de espaçamento entre linhas, respectivamente, demonstrando que a planta de sorgo depende das folhas como os principais órgãos fotossintéticos e a taxa de crescimento da planta depende tanto da taxa de expansão da área foliar como da taxa de fotossíntese por unidade de área.

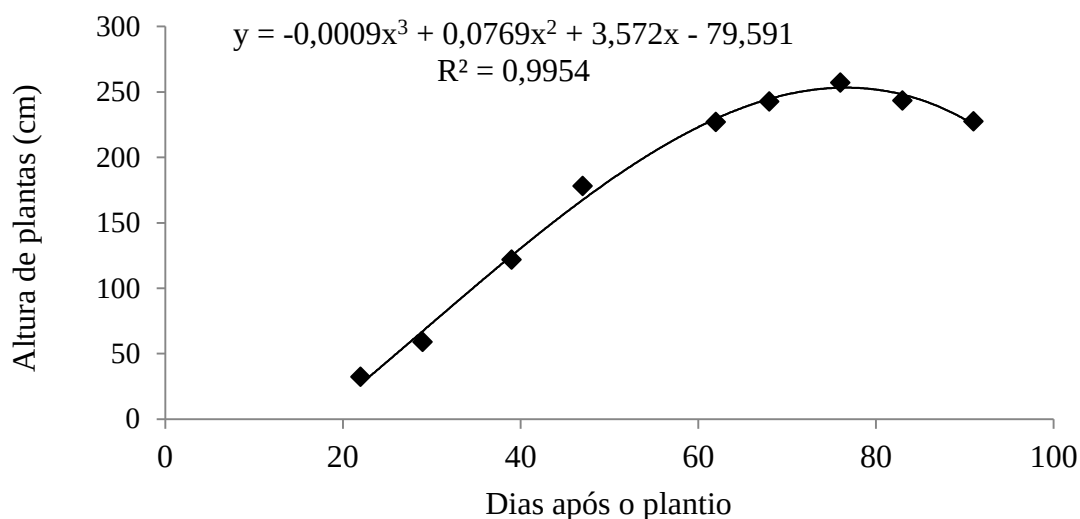


Figura 28: Variação da altura de planta durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra, em Ipanguaçu/RN, 2012.

A Figura 29 mostra o comportamento do número de folhas durante o experimento, qual obteve uma tendência polinomial de terceira ordem, com uma equação $y = -9E-05\text{dias}^3 + 0,0129\text{dias}^2 - 0,3575\text{dias} + 7,608$, $R^2 = 0.7655$. Observa-se que após os 68 dias, onde atingi-o o número máximo de folhas (14 follhas planta⁻¹), houve uma tendência de

decréscimo justificada provavelmente pela senescência de folhas, que cessa após o florescimento e não há emissão de novas folhas.

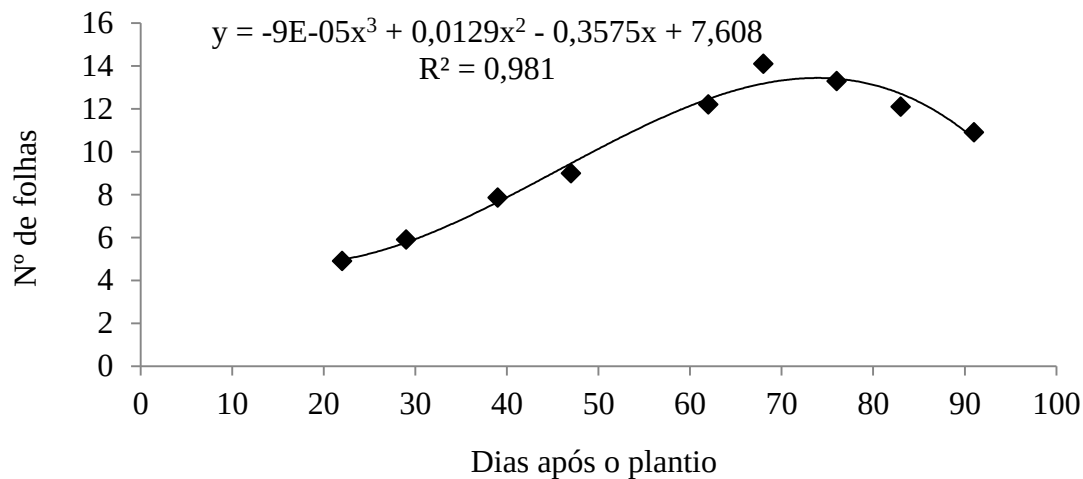


Figura 29: Variabilidade do número de folhas durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra na área experimental. Ipanguaçu/RN, 2012.

A Figura 30 apresenta o comportamento do diâmetro do colmo médio das plantas ao longo do ciclo da cultura. Um modelo de crescimento pôde ser obtido para o diâmetro do colmo das plantas $y = -0,0074\text{dias}^2 + 1,0803\text{dias} - 17,15$; $R^2 = 0,97$. O diâmetro do colmo atingiu seu valor máximo de 21,834 mm aos 76 DAP. Logo depois houve um pequeno decréscimo, chegando a 20,840 mm aos 91 DAP.

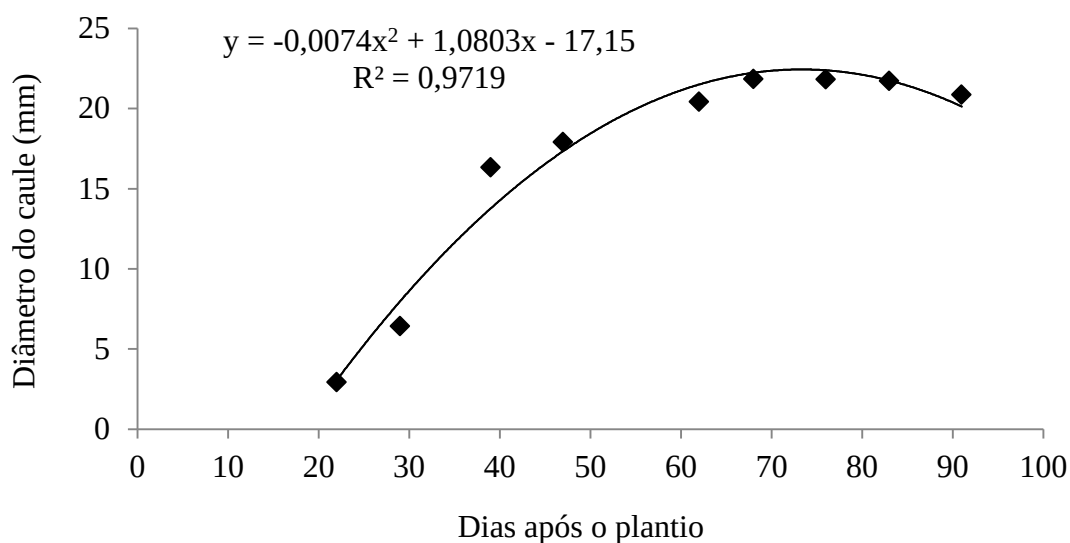


Figura 30: Variabilidade do diâmetro do caule durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra na área experimental. Ipanguaçu/RN, 2012.

A Figura 31 mostra o comportamento da matéria fresca total na cultura sorgo durante o experimento, o qual obteve uma tendência polinomial de terceira ordem, com uma equação $y = -1.152\text{dias}^3 + 189.01\text{dias}^2 - 7487,9\text{dias} + 86562$; $R^2 = 0,993$. Aos 68 DAP a matéria fresca ultrapassou o valor de 90 toneladas por hectare, e aos 84 DAP chegou no valor máximo de $107.841 \text{ kg ha}^{-1}$ e próximo do fim do ciclo chegou aos $102.516 \text{ kg ha}^{-1}$. A matéria fresca total foi obtida pela soma da matéria fresca do caule, folha e panícula.

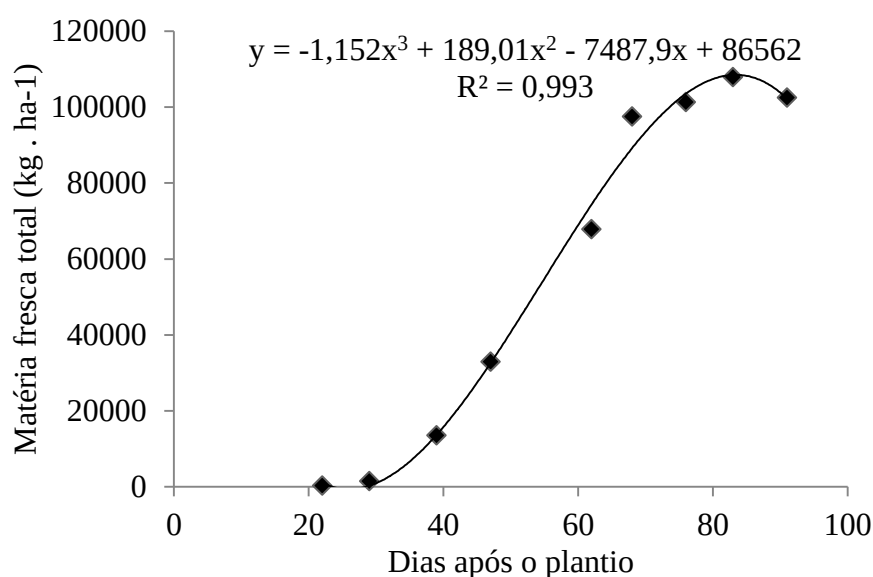


Figura 31: Comportamento da matéria fresca durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra. Ipanguaçu/RN, 2012.

A Figura 32 mostra o comportamento da matéria seca total na cultura do sorgo durante o experimento, o qual obteve uma tendência polinomial de terceira ordem, com uma equação $y = -0,3478\text{dias}^3 + 64,127\text{dias}^2 - 2988,8\text{dias} + 39913$; $R^2 = 0,9219$. No final do ciclo da cultura aos 91 DAP, matéria seca total chegou ao um valor de $37.340 \text{ kg ha}^{-1}$.

Observa-se que houve um aumento muito rápido entre os 62 a 68 dias após o plantio, isso se justifica por está inserido na fase de floração e frutificação, na qual a planta ganha grande quantidade de matéria seca. A matéria seca total foi obtida pela soma da matéria seca do caule, folha e panícula.

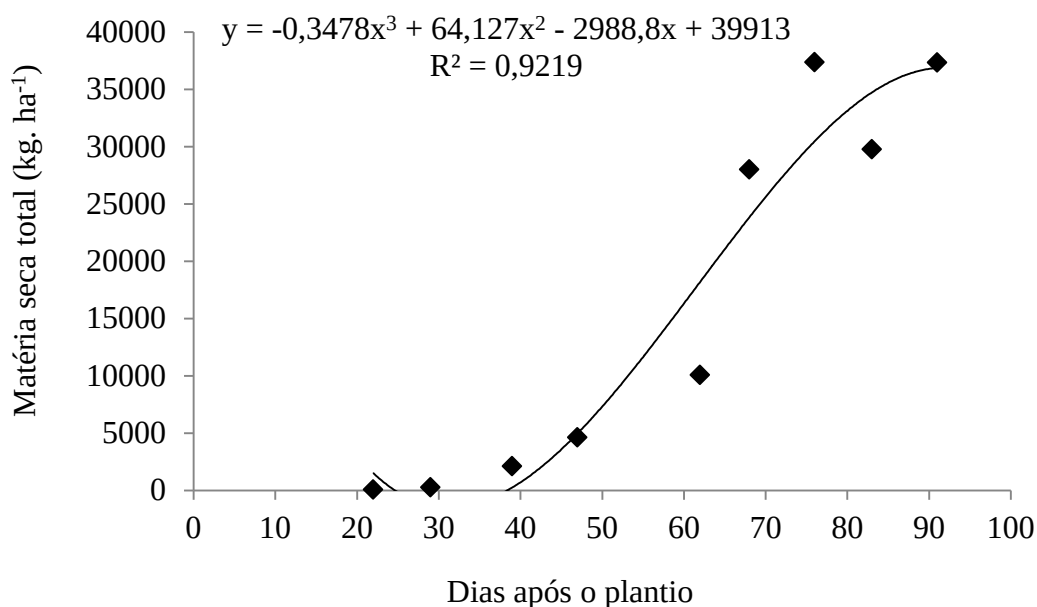


Figura 32: Comportamento da matéria seca durante o cultivo do Sorgo BRS Ponta Negra. Ipanguaçu/RN, 2012.

Na Tabela 9 é apresentada a produtividade média da matéria seca e de grãos para o Sorgo BRS Ponta Negra aos 96 dias após o plantio na área e nos lisímetros. A produção de matéria fresca total no final do ciclo do sorgo foi de 84,42 ton ha⁻¹. Em um experimento realizado em Quixadá/CE com o sorgo BRS Ponta Negra observou um valor semelhante ao encontrado no presente estudo, de 85.700 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2007).

Observa-se que a produtividade da matéria fresca total e seca ao fim do experimento foi inferior do conteúdo estimado ao longo do ciclo, podendo ser justificado pela forma de amostragem. A execução de experimentos é muitas vezes limitada pela grande n° de mensurações realizadas em cada unidade experimental, pois caso fossem tomadas informações de toda a população demandaria excessivo tempo e recursos financeiros e humanos (MARTIN; STORCK; LORENTZ, 2005).

Tabela 9: Produtividade média do Sorgo BRS Ponta Negra, em Ipanguaçu/RN, 2012.

Local	Produtividade grãos (kg. ha ⁻¹)	Local	Produtividade Matéria seca (kg.ha ⁻¹)
Lisímetro 1	6.100,09	Lisímetro 1	35.861,99
Lisímetro 2	4.291,34	Lisímetro 2	23.541,10
Área	8.715,87± 642,50	Área	35.900,00± 2.831,10

± - Dispersão dos dados para um intervalo de confiança com 95% de probabilidade.

A produtividade de grãos do Sorgo Ponta Negra obtida na área foi de 8.715,87 kg ha⁻¹, já a produtividade dentro dos lisímetros foram menores no lisímetro 1 produziu 6.100,09 kg ha⁻¹ e no lisímetro 2 4 291,34 kg ha⁻¹. Pode ser justificado, pela diferença de preparo do solo, enquanto a área experimental foi realizada duas arações e uma gradagem, sendo incorporada toda a vegetação presente na área. No lisímetro 2 apresentou menor produtividade em relação ao lisímetro 1, provavelmente se devem ao fato de ter ocorrido menor aplicação de água, que se deve a baixa uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação, além de apresentar na camada superficial do solo mais arenosa do que o solo do lisímetro 1, o que levou um menor armazenamento de água, provocando menor vigor das plantas.

Segundo Lima et al. (2013), em um experimento na EMPARN-Apodi com sorgo BRS Ponta Negra, alcançou uma produtividade de grãos na área de 5.152,75 kg ha⁻¹, já a produtividade dentro dos lisímetros (Lis 1 e Lis 2) foi de 5.284,26 e 7.601,59 kg ha⁻¹, respectivamente. Em experimento realizado em várias localidades no Ceará, Cysne e Pitombeira (2012) encontraram valores semelhantes em relação a produtividade de grãos da área e maiores do que encontrado dos lisímetros. A cultivar SHS 400 para o município de Morada Nova/CE apresentou uma produtividade de 7.633,9 kg ha⁻¹.

Silva e Lovato (2008) analisando o crescimento e rendimento do sorgo em diferentes manejos com nitrogênio em um experimento conduzido em Santa Maria-RS em solo classificado como Alissolo Crômico argiluvico típico encontrou o maior valor para produtividade de 6.596,33 kg ha⁻¹ pertencente ao tratamento com 100 kg ha⁻¹ de N.

De acordo com o IBGE (2013), a produtividade média do sorgo no Brasil ainda é considerada baixa, em torno de 3.128 kg ha⁻¹, bem abaixo dos valores encontrados no experimento. Dentre os principais fatores responsáveis por esta diferença de produtividade, destacam-se a distribuição irregular das precipitações, fertilidade do solo, baixas aplicações de fertilizantes e densidade de plantas inadequada na semeadura (HAMMER; BROAD, 2003).

Em relação à produção de matéria seca na área foi de 35.900,00 kg ha⁻¹, já a produção de matéria seca dentro do lisímetro 1 foi de 35.848,37 kg ha⁻¹ e no lisímetro 2 foi de 23.541,10 kg ha⁻¹. A EMBRAPA (2007) em experimento realizado em São Gonçalo do Amarante obteve resultados semelhantes ao encontrado no presente estudo, com uma matéria seca de 37.000,00 kg ha⁻¹ para a cultivar BRS Ponta Negra e as testemunhas híbrido BR 601 e variedade IPA 467-4-2 encontraram como produtividade da matéria seca

26.000,00 kg ha⁻¹ nas duas testemunhas. Bordin et al. (2003), trabalhando com culturas de cobertura antecedendo a semeadura de feijão de inverno, verificaram produções de matéria seca para a cultura do sorgo de 12.686 kg ha⁻¹. Miranda et al. (2010), estudando o efeito de diferentes culturas de cobertura sobre a produtividade de matéria seca do sorgo cultivado em Mossoró/RN, encontraram variação de 9.000 a 23.000 kg ha⁻¹ de matéria seca, valores abaixo do encontrado neste trabalho.

5. CONCLUSÕES

A evapotranspiração total da cultura (ETc) do sorgo BRS Ponta Negra foi de 499,89 mm para um ciclo de 96 dias, com valor médio diário de 5,2 mm e valor máximo chegando a 7,84 mm, valor esse obtido na fase de floração.

A ETc total estimada com base na metodologia da FAO foi de 535,33 mm, sendo que o Kc dos lisímetros foram menores nas fases inicial e desenvolvimento vegetativo e maiores nas fases de floração/frutificação e maturação que o Kc dual da FAO.

Os coeficientes de cultivo obtido pelos lisímetros foram de 0,49; 0,82; 1,13 e 0,98 para as diferentes fases fonológicas, que tiveram duração de 21, 36, 27 e 12 dias respectivamente, para o Sorgo BRS Ponta Negra nas condições edafoclimáticas de Ipanguaçu/RN.

Com relação ao crescimento da cultura a altura máxima das plantas atingiu 2,27 m aos 76 DAP. A produtividade de grãos obtida na área foi de 8,7 ton ha⁻¹, já para matéria fresca e seca foi 84,42 ton ha⁻¹ e 35,9 ton ha⁻¹, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68 p. (FAO. Irrigation and Drainage paper, 39).

ALBERT, K. R., MICHELSEN, A.; RO-POULSEN, H.; VAN DER LINDER, L. Interactive effects of drought, elevated CO₂ and warming on photosynthetic capacity and photosystem performance in temperate heath plants. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 168, n. 13, p. 1550-1561, 2011.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH. Evapotranspiration del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**, Roma: FAO, 1998, 300p, (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R. G. et al. (Ed.) *Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements*. New York: American Society of Civil Engineers, 444p, 1991.

ALVES, M. E. B. Disponibilidade e demanda hídrica na produtividade da cultura do eucalipto. (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 136f, 2009.

ALVES, V. C. et al. Exigências térmicas do arroz irrigado “IAC 4440”. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 171-174, 2000.

ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Geneva, v. 74, n. 1, p. 430-445, 1959.

ASAE. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. In: *Agricultural Engineers Yearbook*. St Joseph, Michigan: ASAE, p.568-570, 1990.

ASSIS, F. N.; VERONA, F. A. L. Consumo de água e coeficiente de cultura do sorgo. *Pesquisa agropecuária brasileira*. Brasília. v.26, n.5, p.665-670, 1991.

BARBANO, M. T. et al. Temperatura-base e soma térmica para cultivares de milho pipoca (*Zeamays*L.) no subperíodo emergência-florescimento masculino. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 79-84, 2003.

BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G.; SANTOS, A. O. et al. Automação de um lisímetro de pesagem através de estação meteorológica, a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: SBA, 1997. p. 222 - 224.

BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. *Bragantia*, v.62, n.3, p.417-428, 2003.

BURMAN, R. & POCHOP, L. O. Evaporation, evapotranspiration and climatic data. Elsevier, Amsterdam, 1994. 278p.

BRUNINI, O. et al. Determinação das exigências térmicas e hídricas de cultivares de milho. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 3., 1995, Assis. *Anais...* Assis: IAC/CDV, 1995. p. 141-145.

BLUM, A. Genotypic responses in sorghum to drought stress I. Response to soil moisture soil. *Crop. Science*. v. 14 p. 361-364 , 1974.

BRUNINI, O. et al. Temperatura base para alface “White Boston”, em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia*, Campinas, v. 35, n. 19, p. 214-219, 1976.

BRYLA, D. R.; TROUT, T. J.; AYARS, J. E. Weighing lysimeters for developing crop coefficients crop coefficients and efficient irrigation practices for vegetable crops. *Hort Science*, Alexandria, v. 45, n. 11, p. 1597-1604, 2010.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G. **Produção e necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi**. 2011. 62 f. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). Mossoró, RN, 2011.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMARGO, M. B. P. **Exigências bioclimáticas e estimativa da produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo**. 1984. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

CAMPECHE, L. F. de S. M. Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tan.). 2002. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CAMPECHE, L. F. M. S.; NETTO, A. O. A.; SOUSA, I. F.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande-PB, v.15, n.5, p.519–525, 2011.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ, F. A.; SOUZA, A. P. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 2, p. 363-372, 2007.

COELHO, M. R. **Coeficiente de cultura (kc) e desenvolvimento inicial de duas variedades de cafeeiro (Coffea arabica L.) associados a graus-dia**. 2004. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

COELHO, D. T.; DALE, R. F. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting corn growth and development: planting to silking. *Agronomy Journal*, Madison v.72, p.503-510, 1980.

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Estudos de prospecção de mercado safra 2012-2013 Conab**, Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 09 Dez. 2013.

CYSNE, J. R. B.; PITOMBEIRA, J. B. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo granífero em diferentes ambientes do Estado do Ceará. *Fortaleza*, v. 43, n. 2, p. 273-278, 2012.

CHRISTIANSEN, E. J. Irrigation by sprinkler. Berkeley University of California, 1942.

DINIZ, G. M. M. Produção de Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) Aspectos Gerais. Disponível em: <http://lira.pro.br/wordpress/wpcontent/uploads/downloads/2010/11/revisao-Guilherme-Diniz.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2013.

DOGGETT, H. Physiology and agronomy. In: DOGGETT, H. *Sorghum*. London: Longmans, 1970. p. 180-211

DONATELLI, M.; HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. **Genotype and water limitation effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain sorghum**. *Crop Science*. Madison, v. 32, p. 781-786, 1992.

DOORENBOS J, KASSAM A. H. Yield Response to Water. *FAO Irrigation and Drainage paper No. 33*, FAO, Rome, Italy, p. 193, 1979.

DOGGETT, H. Physiology and agronomy. In: DOGGETT, H. *Sorghum*. London: Longmans, 1970. p. 180-211

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Trad. H. R. Gheyi, J. E. C. Metri, F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 204p, 1997. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. BRS Ponta Negra Variedade de Sorgo Forrageiro. Sete Lagoas: 2007, 1ª Edição, versão eletrônica.

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Coarse Grains. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/010/ai466e/ai466e04.htm>>. Acesso em: 15 Dez. 2013.

FARAHANI, H.J.; HOWELL, T.A.; SHUTTLEWORTH, W.J.; BAUSCH, W.C. Evapotranspiration: progress in measurement and modeling in agriculture. Transactions of the ASABE, St. Joseph, v. 50, n.5, p. 1627- 1638, 2007.

FERNANDES, C. S. Sorgo - **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. In. CURSO DE EXTENSÃO SOBRE A CULTURA DO SORGO, 1980, Vitória de Santo Antão, PE. Curso de extensão sobre a cultura do sorgo. Brasília: EMBRAPA DID, p. 7-13. 1981. (IPA. Documentos, 1).

FILHO, J. E.; FILHO, E. G. **Crescimento e osmorregulação de dois genótipos de sorgo submetidos ao estresse salino**. Ciência Agronômica, v. 34, p. 125-131, 2003.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo-SP: Editora Edgard Blücher, 1988.

HAMMER, G. L.; BROAD, I. J. Genotype and environment effects on dynamics of harvest index during grain filling in sorghum. Agronomy Journal, v.95, p.199-206, 2003.

HAMMER, G. L.; BROAD, I. J. Genotype and environment effects on dynamics of harvest index during grain filling in sorghum. Agronomy Journal, v.95, n.1, p.199-206, 2003.

HENRIQUE, F. A. N; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referencia em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 06, p. 594-599, 2007.

HOWELL, T. A.; MCORMICK, R. L.; PHENE, C.J. Design and instalation of large weighing lysimeters. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.28, n.117, p.106-112, 1985.

HOWELL, T. A. Lysimetry. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of soils in the environment**. Oxford: Elsevier, 2004. P. 379-386.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201306.pdf>. Acesso em: 14 Jul. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/11S1>>. Acesso em: 15 Dez. 2013.

JESSEN, M.E.; BURMAN, R. D. & ALLEN, R. G. 1990. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York, ASCE. 332 p.

KANEMASU, E. T.; STONE, L. R.; POWERS, W. L. Evapotranspiration model tested for soybean and shorgum. **Agronomy Journal**, v.68, n.4,p.569-572,1976.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2. ed. São Paulo, Nobel, 1988.

KLOCKE, N. L.; HUBBARD, K. G.; KRANZ, W. L.; WATTS, D. G. Evapotranspiration (ET) or Crop Water Use, 1996. Disponível em: <http://www.p2pays.org/ref/20/19769.htm>. Acesso em: 15 Jul. 2013.

LIMA, J. G. A.; **Necessidades hídricas do sorgo de dupla aptidão sob condições irrigadas na chapada do Apodi**. 2013. 74 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFERSA. Mossoró, RN, 2013.

LIRA, M. de A.; BRANDÃO, A. R. M.; TABOSA, J. N.; BRITO, G. Q. **Estudos preliminares de resistência à seca em genótipos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Viçosa, MG, v. 18, n. 1, p. 1-12, 1989.

MAGNAVACA, R.; GARDNER, C. O. E.; CLARK, R. B. Inheritance of aluminum tolerance in maize, In: Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition, edited by Gabelman, H. W. and B. C. Loughman. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, p.201-212, 1987.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MARTIN, T. N.; STORCK, L.; LORENTZ, L. H. Plano amostral em parcelas de milho para avaliação de atributos de espiga. **Ciência Rural**, Santa Maria, V. 35, n.6, p.1257-1262, nov./dez. 2005.

MASOJIDEK, J.; TRIVEDI, S.; HALSHAW, L.; ALEXIOU, A.; HALL, D. O. **The synergetic effect of drought and light stress in sorghum and pearl millet**. Plant Physiology, Bethesda, v. 96, p. 198-207, 1991.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Fisiologia da planta de sorgo. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2003. 4p. (Boletim técnico-86).

MCMMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 87, n. 4, p. 291-300, 1997.

MEDEIROS, A. T. ; SENTELHAS, P. C. ; LIMA, R. N. . Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.1, p.31-40, 2003.

MEDEIROS, A.T. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraipaba, CE. (Tese de Doutorado) - Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 103 p, 2002.

MELO, T. K. de.; **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do melão gália irrigado com água de diferentes salinidades**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró/RN, 2009.

MIRANDA, N. DE O.; GÓES, G.B. DE; ANDRADE NETO, R.C.; LIMA, A.S. Sorgo forrageiro em sucessão a adubos verdes na região de Mossoró, RN. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.2, p.202-206, 2010.

MIRANDA, F. R.; YODER R. E.; SANTOS, F. J. S. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Curu-Paraipaba-CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 107-110, 1999.

MONTERO, L.; CUN, R.; LAGO, A. Respuesta del sorgo em condiciones de seca no como alternativa para la alimentación animal en la agricultura urbana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. v. 17, n. 2, p 62-65, 2008.

OLIVEIRA, T.K. de; CARVALHO, G.J. de; MORAES, R.N.S.; JERÔNIMO JUNIOR, P.R.M. Características agrônômicas e produção de fitomassa de milho verde em monocultivo e consorciado com leguminosas. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 223-227, jan/fev., 2003.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ALFONSI, R. R. Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: RODRIGUES, O. et al. (Ed.). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill. v. 1, p. 153-188, 1991.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. & SENTELHAS, P. C. Meteorologia Agrícola. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, 125 p. 2007.

PEREIRA, A.R.; SANTIAGO, A.V.; MAGGIOTO, S.R.; FOLEGATTI, M.V. Problemas operacionais com lisímetros de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.10, n.1, p.51-56, 2002a.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia. Fundamentos e Aplicações Práticas**. Livraria e editora Agropecuária, Guaíba, p.478, 2002b.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes de culturais. *Engenharia Agrícola*, v.16, p.118-143, 1997.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba-RS: Livraria e Editora Agropecuária Ltda, 2002c.

RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). Cultivo do sorgo. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2).

SALASSIER, B.; SOARES, A.A. & MONTOVANI, E.C. 2006. *Manual de irrigação*. Viçosa, Ed. UFV. 625 p.

SANTOS A.O.; MAZIERO, J.V.G.; CAVALLI, A.C.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, H.; SANTOS, F.X.; RODRIGUES, J.V.; MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, R.F.

Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no Semi-Árido Nordestino. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.115-124, 2008.

SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1. p.ixii, jun-ago, 1996.

SILVA, J. S.; LACERDA, C. F.; NETO, A.D.A.; COSTA, P. H. A.; PRISCO, J. T.; SWERINGIN, M. L.; FOLEY, J. R.; MORRIS, W. H. M.; NEVES, J. D. **Sorgo granífero para o Nordeste Brasileiro - Estudo de viabilidade**. Relatório elaborado pela Universidade de Purdue, colaboração com a SUDENE, Ministério da Agricultura, USAID/NE, 1971.

SILVA, P. C. S.; LOVATO, C. Análise de crescimento e rendimento em sorgo granífero em diferentes manejos com nitrogênio. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.15, n.1, p. 15-33. 2008.

SILVA, M. L.; Avaliação de genótipos de sorgo forrageiro na zona da mata de alagoas (Dissertação de Mestrado) 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Rio Largo, AL, 2011.

SILVA, L. D. B. Evapotranspiração do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq) e grama-batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem. 2003. 93 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SILVA, A. V.; ALMEIDA, F. A. Cultura do sorgo granífero na Região do Brasil Central. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 25, Cuiabá. Anais. Cuiabá: Embrapa Gado de Corte, Empaer-MT, 2004.

SILVA, F. C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S.R. Análise de funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.7, n.1, p.53-58, 1999.

SOUZA, I. H.; ANDRADE, E. A. COSTA, E. M. ; SILVA, E. L.; Artigo Técnico: Avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software "BUBBLER". **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 25, n. 1, p. 264-271, jan./abr. 2005.

STRECK, N. A. A. A temperature response function for development of the chrysanthemum (*Chrysanthemum x morifolium* Ramat.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 49-54, 2004.

TABOSA, J. N. **Water use efficiency in sorghum and corn cultivars under field conditions**. Sorghum Newsletter. Tucson, v. 30, p. 91-92, 1987.

THORNTHWAITE, W.C., HOLMAN, B. Mensuration of evaporation from land and water surface Washington: **USDA Technical Bulletin**. n. 817B, p 4-11, 1944.

TYAGI, N. K.; SHARMA, D. K.; LUTHRA, S. K.; Evapotranspiration and crop coefficients of wheat and sorghum. *Journal of irrigation and drainage engineering*. Karnal, v. 126, p. 215-222, 2000.

VASCONCELOS, Mickaelon Belchior. **Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borada Sul da Bacia Potiguar: trecho Upanema, Afonso Bezerra**. 2006. 100 f. (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara - SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

VILLALOBOS, F. J.; ORGAZ, F.; TESTI, L.; FERERES, E. Measurement and modeling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) orchards. Cordoba. *Europ. Journal Agronomy* v.13, p. 155–163, 2000.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VON PINHO, R.G.; VASCONCELOS, R.C.; BORGES, I.D.; RESENDE, A.V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. *Bragantia*, v.66, n.2, p.235-245, 2007.

WANG, J. Y. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology*, Washington, v. 41, n. 4, p. 785-790, 1960.

WUTKE, E. B.; BRUNINI, O.; BARBANO, M. T. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-61, 2000.

ANEXOS

Dados meteorológicos diários ao longo do experimento, em Ipanguaçu/RN, 2012.

DATA	T_Ar média (°C)	UR média (%)	V_Vento média (m/s)	T_Ar máxima (°C)	UR máxima (%)	T_Ar mínima (°C)	UR mínima (%)	Rg (MJ/m²/dia)
31/ago	27,14	55,73	2,202	35,19	86,4	19,78	24,65	23,26
01/set	27,36	51,84	2,26	35,53	86,9	17,62	25,96	24,06
02/set	27,95	49,54	2,801	34,74	82,1	19,33	25,83	23,68
03/set	28,22	46,43	2,964	36,13	79,71	19,64	17,92	24,05
04/set	28,26	49,38	2,904	34,82	77,49	20,74	27,19	24,21
05/set	27,56	49,82	2,814	34,92	82	19,85	25,48	23,41
06/set	27,21	46,73	3,005	34,61	78,11	18,73	23,3	25,26
07/set	27,32	49,19	1,997	35,22	83,6	18,52	22,37	23,85
08/set	27,63	51,45	1,87	36,1	84,4	18,49	20,7	24,62
09/set	29,16	47,69	2,692	36,41	68,73	23,22	25,33	23,01
10/set	28,46	46,94	2,68	35,14	72,66	21,55	26,02	22,85
11/set	27,94	49,41	2,449	35,08	72,95	20,88	26,39	19,03
12/set	28,25	57,67	2,246	36,26	84,7	20,4	27,65	22,88
13/set	28,83	49,62	2,095	36,78	84,7	20,44	22,23	24,38
14/set	28,48	47,72	2,571	36,21	76,47	21,45	21,97	25,08
15/set	28,57	45,38	2,598	36,04	70,13	21,14	23,63	23,12
16/set	28	51,92	2,476	33,06	66,77	23,05	37,95	16,53
17/set	28,74	51,88	3,056	35,08	66,26	23,77	31,05	19,49
18/set	28,92	48,43	3	35,11	64,88	24,37	26,53	22,22
19/set	28,33	50,63	2,378	35,62	81	20,69	25,83	22,70
20/set	27,68	51,07	2,453	35,81	73,76	21,67	22,84	25,04
21/set	30,11	47,98	3,133	35,57	68,05	24,33	26,77	22,36
22/set	28,01	56,17	2,175	36,51	87,7	20,23	26,19	21,53
23/set	28,92	49,34	3,298	35,89	74,73	22,42	25,76	21,27
24/set	28,75	44,69	3,026	35,9	77,2	21,06	19,91	24,25
25/set	27,82	50,62	2,257	34,77	77,04	19,81	25,48	20,67
26/set	28,03	57,42	2,332	35,86	84,2	20,86	25,25	22,38
27/set	28,64	55,94	2,339	36,66	85,1	20,9	24,82	22,79
28/set	29,06	48,24	2,261	36,28	79,42	21,26	24,06	21,77
29/set	27,9	50,05	2,098	35,69	75,72	21,72	21,18	24,89
30/set	27,83	50,01	1,918	36	72,42	19,88	20,12	25,47
01/out	28,66	47,79	1,924	36,68	80,7	19,46	19,57	25,59
02/out	28,27	51,82	2,744	34,63	82,6	19,56	33,06	24,51
03/out	28,84	50,23	2,4	36,09	78,45	22,06	24,3	23,74
04/out	28,82	47,13	2,424	36,13	77,79	21,22	24,13	24,20
05/out	28,91	43,1	3,121	35,66	66,81	22,05	23,9	25,09
06/out	28,97	46,4	2,944	36,16	75,47	20,6	26,64	23,82
07/out	29,39	47,08	2,429	36,4	77,74	21,08	23,65	23,20
08/out	28,68	48,53	2,669	36,57	74	21,12	25,62	23,53
09/out	29,02	43,91	2,431	36,17	69,81	21,78	22,64	24,20
10/out	27,95	55,92	2,097	34,28	76,83	21,51	29,5	20,81
11/out	27,79	59,47	2,028	33,74	82,1	22,95	33,48	19,68
12/out	28,68	53,48	1,984	36,31	88,5	20,07	26,12	21,89
13/out	28,5	53,37	1,692	35,37	82,2	21,31	30,84	19,63
14/out	27,47	57,19	1,811	35,63	82	20,71	26,73	24,28
15/out	27,8	57,56	1,617	36,41	83,8	20,61	23,63	24,69
16/out	28,8	55	2,265	35,74	82,8	21,79	30,25	19,77
17/out	28,81	52,64	2,074	35,6	77,98	23,24	29,97	21,59
18/out	28,06	54,54	2,175	35,54	84,9	20,01	27,68	20,67
19/out	27,98	58,36	1,941	34,96	79	21,68	30,62	20,09
20/out	28,45	53	1,964	35,82	85	20,4	26,33	20,24
21/out	28,51	52,22	2,389	36,44	84	19,56	24,5	24,22
22/out	28,29	56,25	2,419	36,16	83,5	21,14	27,23	22,42
23/out	29,14	53,2	2,138	37,25	86	21,7	26,86	21,59
24/out	29,38	52,49	1,642	37,35	79,26	22,35	23,14	23,75
25/out	29,02	52,51	1,633	36,63	72,47	23,81	24,64	22,12
26/out	28,34	55,34	2,034	36,1	80,7	22,48	23,76	18,98
27/out	28,78	56,35	1,846	36,68	81,4	21,96	24,53	19,37
28/out	28,66	54,99	2,125	36,71	73,6	22,67	25,05	17,55
29/out	27,28	61,08	2,093	33,52	83,9	21,4	33,86	14,35
30/out	27,61	63,48	2,223	35,3	88,9	21,32	33,71	14,11
31/out	27,81	62,59	1,818	36,79	90,8	20,1	29,28	22,25

01/nov	27,6	63,91	2,028	35,71	89,1	20,7	32,38	23,90
02/nov	27,27	67,24	1,518	34,63	88,9	21,56	38,5	21,19
03/nov	27,62	65,23	1,775	34,96	88,2	21,63	36,23	21,94
04/nov	27,33	66,34	1,685	36,26	91,4	19,81	29,34	24,47
05/nov	26,82	66,16	1,768	35,79	91,4	19,75	30,2	24,61
06/nov	27,02	63,56	2,187	34,96	90,4	19,71	33,1	22,71
07/nov	27,14	61,28	2,217	34,5	90,3	19,53	33,02	20,98
08/nov	27,95	56,58	2,284	34,73	85	21,04	29,31	20,42
09/nov	26,09	64,03	1,95	33,1	84,9	20,69	29,57	21,19
10/nov	27,94	55,34	2,002	36,1	87,8	20,09	26,92	21,85
11/nov	27,27	59,38	1,821	37,36	89,6	18,75	17,48	23,65
12/nov	29,19	52,66	1,739	37,79	88,3	20,57	21,64	23,87
13/nov	27,18	64,16	1,84	36,38	88,6	21,45	25,14	24,02
14/nov	27,25	64,74	1,652	35,25	90,8	20,62	30,21	22,93
15/nov	27,28	65,05	2,071	35,62	91,5	19,75	29,69	22,38
16/nov	28,06	60,71	1,962	36,82	91,4	19,38	24,47	23,60
17/nov	27,96	60,09	2,042	36,39	91,6	19,16	29,85	21,60
18/nov	26,9	68,39	1,817	32,48	89,7	21,15	34,95	23,45
19/nov	29,32	53,79	1,869	36,89	86,4	20,51	25,7	21,09
20/nov	29,48	54,77	1,552	37,46	86,2	21,4	24,08	20,51
21/nov	30,11	47,98	1,163	35,57	68,05	24,33	26,77	23,17
22/nov	28,7	60,27	1,668	37,31	90,2	20,6	26,41	23,51
23/nov	28,85	61,34	1,571	36,48	84,2	22,75	30,34	20,62
24/nov	26,88	68,3	1,447	35,11	86,8	22,08	34,95	22,35
25/nov	27,94	63,75	1,455	35,55	89,3	21,37	30,23	19,64
26/nov	28,16	62,52	1,486	35,82	91	20,89	29,81	20,33
27/nov	28,6	57,87	1,989	36,43	88,8	21,16	26,54	22,54
28/nov	27,84	62,85	1,519	35,25	89,2	20,7	31,06	19,33
29/nov	27,21	68,94	1,548	33,87	94,2	21,87	39,13	13,71
30/nov	28,02	63,67	1,768	33,8	81,1	23,93	41,46	15,13
01/dez	27,71	63,69	1,863	35,01	91,9	20,34	30	17,42
02/dez	28,67	60,78	1,903	36,45	83,6	23,04	28,14	19,63
03/dez	29,14	55,97	1,976	37,16	84	22,94	25,67	18,69
04/dez	28,39	58,14	1,875	36,82	90,8	20,16	27,07	18,94

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.