WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS

NECESSIDADES HÍDRICAS, DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DO MILHO NAS CONDIÇÕES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

MOSSORÓ - RN

2012

WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS

NECESSIDADES HÍDRICAS, DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DO MILHO NAS CONDIÇÕES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

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

ORIENTADOR: Prof. D.Sc. José Espínola Sobrinho

MOSSORÓ - RN

2012

Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e catalogação da Biblioteca "Orlando Teixeira" da UFERSA

S237n Santos, Wesley de Oliveira.
Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica da cultura do milho nas condições do semiárido brasileiro. / Wesley de Oliveira Santos. -- Mossoró, 2012.
104 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem. Área de Concentração: Necessidades hídricas das culturas.) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Orientador: Profº. D. José Espínola Sobrinho.
Co-Orientador: Profº. D. José Francismar de Medeiros.

1. Evapotranspiração. 2. Milho verde. 3. Manejo da irrigação. I.Título.

CDD: 631.587

Bibliotecária: Vanessa de Oliveira Pessoa
CRB15/453

WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS

NECESSIDADES HÍDRICAS, DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DO MILHO NAS CONDIÇÕES DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

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

APROVADA EM: _____/_____/_____

_____

Prof. D.Sc. José Espínola Sobrinho-UFERSA
Orientador

_____

Prof. D.Sc. José Francismar de Medeiros– UFERSA
Co-Orientador

_____

D.Sc. Magna Soelma Beserra de Moura-EMBRAPA
Conselheira

A minha mãe
Maria das Graças Soares de Oliveira Santos

Ao meu pai
Valmir Xavier dos Santos

A minha querida avó (in memorian)
Verônica Soares de Oliveira

Ao meu irmão
Tharley de Oliveira Santos

Aos meus amigos da UFERSA

Dedico, com muito amor e carinho.

“Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil – e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter iluminado os meus passos.

Aos meus pais pela grande ajuda e colaboração, pois sem eles eu não teria chegado até aqui.

Ao professor José Espínola Sobrinho, pela confiança e todo apoio que me foi dado e pela grande dedicação ao trabalho que exerce junto a Universidade, e pela orientação para a realização deste trabalho.

Aos professores José Francismar de Medeiros e Vladimir Batista Figueirêdo pela compreensão, paciência, amizade e disponibilidade de ajudar no decorrer de todo o trabalho.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade em realizar este curso.

Aos conselheiros da banca examinadora pelas sugestões e contribuição na melhoria desta dissertação.

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

A minha família, pelos esforços necessários e por acreditarem no meu sucesso.

Aos meus colegas de Pós-graduação da UFERSA, Fabrícia Gratielly Bezerra Costa, André Herman Freire Bezerra, Edmara, Francisco Gilliard Chaves Freire, Herlon Bruno Ferreira Barreto, Andlêr Milton de Paiva Oliveira, Daniel de Carvalho Galvão, João Guilherme Araújo Lima, Rozana Maria de Sousa Lima, Paula Carneiro Viana e Edmilson Gomes Cavalcante Junior.

Aos amigos: Ben Dêivide de Oliveira Batista, Vagna da Costa, Renato Leandro Costa Nunes, Rudah Marques, Flabênio e em especial aos amigos da casa 09 da vila acadêmica da UFERSA.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da UFERSA.

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

SANTOS, Wesley de Oliveira. **Necessidades hídricas, desenvolvimento e análise econômica da cultura do milho nas condições do semiárido brasileiro.** 98f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2012.

A cultura do milho (*Zea mays* L.) apresenta grande importância de ordem econômica e social no Brasil, devido, sua elevada produtividade, valor nutritivo e pelas diversas formas de utilização na alimentação humana e animal, *in natura* e na indústria de alta tecnologia. O cultivo de milho destinado à produção de milho verde vem aumentado de forma significativa, em função de sua lucratividade, pois na forma de grãos verdes, o valor de comercialização é maior, quando comparado com o milho na forma de grãos secos. A exigência hídrica do milho é variável, dependendo dos fatores climáticos reinantes no período de desenvolvimento, da variedade e do estádio da cultura. Se houver deficiência hídrica uma semana após surgirem anteras, pode ocorrer uma queda de 50% na sua produção, com isso este trabalho teve por objetivo determinar a evapotranspiração da cultura (ETc) e os coeficientes de cultivo (Kc) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do milho híbrido AG 1051, avaliar o crescimento e o desenvolvimento bem como a produtividade, além da análise econômica do milho cultivado em fileira dupla (1,3 x 0,2 x 0,2 m) irrigado por gotejamento na comunidade de Alagoinha em Mossoró/RN. A medição da ETc diária foi realizada utilizado-se quatro lisímetros de pesagem, com área útil de 2,25 m^2 (dimensões de 1,5 x 1,5 m de área e 1 m de profundidade), foi realizado o monitoramento da umidade do solo por meio de oito sondas TDR (6 de procedência da Campbell e duas construídas artesanalmente nas profundidades de 0-30 cm e de 15-45 cm instaladas nos lisímetros e na área de plantio. A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pelo método Penman-Monteith-FAO. O ciclo da cultura foi de 77 dias e a ETo e ETc total durante esse período foram de 334,90 e 300,54 mm, respectivamente. As fases fonológicas ficaram definidas em 16, 20, 27 e 14 dias para a fases inicial (Fase I), de desenvolvimento vegetativo (Fase II), floração (Fase III) e maturação fisiológica (Fase IV), respectivamente. Os coeficientes de cultivo obtidos para os diferentes estádios de desenvolvimento foram de 0,50; 0,64; 1,12 e 1,11 para as respectivas fases I, II, III e IV. Os valores de Kc obtidos ficaram próximos aos recomendados pela FAO-56, para a cultura do milho. Durante o ciclo da cultura, a altura máxima das plantas foi de 2,38 m, sendo que a altura média correspondeu a 1,2 m, o número médio de folhas foi 14, o diâmetro médio da copa foi 48,28 cm e o máximo correspondeu a 81,00 cm para as plantas na fileira simples, já para a fileira dupla o diâmetro médio da copa foi 98,56 cm e o máximo correspondeu a 1,78 m. A produtividade média para milho verde (espigas empalhadas comercializáveis) foi de 12.239 grãos kg ha^{-1}, já para (espigas despalhadas comercializáveis) foi de 6.380 kg ha^{-1} e para grãos a produção obtida foi de aproximadamente 5.581 kg ha^{-1}. De acordo com razão receita adicional/custo adicional, verifica-se que no caso da prática de colheita de milho verde (sistema de produção adotado como referência), cada real aplicado no custo adicional, gera R$ 59,84 de receita adicional.

Palavras-chave: evapotranspiração, milho verde, manejo da irrigação

ABSTRACT

The culture of maize (*Zea mays* L.) has great importance for economic and social order in Brazil, due to its high productivity, nutritional value and the numerous uses in food and feed, fresh and high-tech industry. The cultivation of maize for the production of corn is increased significantly because of profitability, as in the form of green beans, the commercial value is larger as compared to corn in the form of dry grains. The water requirement of maize is variable depending on the prevailing climatic factors during development, variety and stage of culture. If there is one week after water stress anthers arise, there may be a 50% drop in its production, so this study aimed to determine the crop evapotranspiration (ETc) and crop coefficients (Kc) for different stages of development of corn hybrid AG 1051, to evaluate the growth and development and productivity, and economic analysis of corn grown in double rows (1.3 x 0.2 x 0.2 m) under drip irrigation in the community in Alagoinha Mossoró/RN. The measurement was performed daily ETc was used four weighing lysimeters, with an area of 2.25 m^2 (dimensions 1.5 x 1.5 m in area and 1 m deep) was performed for monitoring of moisture soil through eight TDR probes (6 merits of Campbell and two built by hand at depths of 0-30 cm and 15-45 cm in the lysimeters installed and planting area. Reference evapotranspiration (ETo) was estimated by method Penman-Monteith-FAO. The crop cycle was 77 days and the total ETo and ETc during this period were 334.90 and 300.54 mm, respectively. Phonological phases were set at 16, 20, 27 and 14 days for initial phase (Phase I), the vegetative development (Phase II) flowering (phase III) and physiological maturation (phase IV), respectively. Crop coefficients obtained for the various stages of development were 0.50, 0.64 , 1.12 and 1.11 for the respective phases I, II, III and IV. Kc values obtained were close to those recommended by the FAO-56 for the corn crop. During the crop cycle, the maximum height of plants were 2.38 m, and the average height corresponding to 1.2 m, the average number of sheets was 14, the average diameter of the crown was 48.28 cm and 81.00 cm maximum corresponding to the plants on single row, double row now for the average diameter of the crown was 98.56 cm and the maximum corresponding to 1.78 m. The average yield for corn (cob with husk) was 12.239 kg ha^{-1} grain, while for (marketable husked ear) was 6.380 kg ha^{-1} and grain yield obtained was approximately 5581 kg ha^{-1}. According to the receipts additional/extra cost, it appears that in the case of the practice of harvesting corn (production system adopted as a reference), each real invested in additional cost, generates $ 59.84 of additional revenue.

Keywords: evapotranspiration, green corn, irrigation management

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características químicas do solo, Mossoró/RN, 2011. 34

Tabela 2: Valores dos coeficientes de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997). 52

Tabela 3: Média, desvio padrão e coeficiente de variação para a constante dielétrica das oito sondas TDR a diferentes temperaturas da água, em Mossoró/RN, 2011. 69

Tabela 4: Média, desvio padrão, coeficiente de variação CV (%) e o erro padrão da média da umidade do solo nas profundidades de 0-30 cm e de 15-45 cm verificado durante o ciclo da cultura do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012. 70

Tabela 5: Fator de molhamento médio em (cm) e em decimal ao longo do ciclo da cultura do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012. 72

Tabela 6: Componentes de produção para o milho verde e milho seco, obtidas da amostra de 100 espigas, em Mossoró/RN, 2012. 74

Tabela 7: Matéria seca média durante o ciclo da cultura do milho verde em (kg ha^{-1}), aos 71 dias após o plantio da cultura do milho em Mossoró/RN, 2012. 77

Tabela 8: Eficiência do uso da água determinada a partir da MS e do rendimento de grãos em relação a ETc determinada pelos lisímetros e pelo método da FAO-56, área foliar média e o índice de área foliar médio (IAF), aos 71 dias após o planto da cultura do milho em Mossoró/RN, 2012. 77

Tabela 9: Graus–dias acumulados em cada estádio fenológico da cultura do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012. 78

Tabela 10: Duração das fases fenológicas e kc's médio obtidos pela metodologia da FAO e pelos lisímetros para a cultura do milho, híbrido AG 1051, para a região de Mossoró/RN, 2011-2012. 82

Tabela 11: Indicadores estatísticos "r", "d", "c" e "EPE", para a ETc medida pelos lisímetros e a ETc estimada pela metodologia da FAO, em Mossoró/RN, 2011-2012. 83

Tabela 12: Intervalo de confiança para a média dos kc's pela metodologia da FAO e pelos lisímetros em cada fase fenológica da cultura, em Mossoró/RN, 2011-2012. 85

Tabela 13: Intervalo de confiança para os kc's determinados pelos lisímetros durante o ciclo da cultura do milho verde em escala diária e semanal, em Mossoró/RN, 2011-2012 85

Tabela 14: Indicadores econômicos para o milho AG 1051 por prática de Colheita, em Mossoró-RN, 2012. 87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Fazenda experimental Rafael Fernandez, Universidade Federal Rural do Semi–Árido, Mossoró–RN, 2011. 33

Figura 2: Configuração da semeadura na área experimental, Mossoró–RN, 2011. 33

Figura 3: Detalhe da irrigação dos lisímetros instalados na área experimental, Mossoró–RN, 2011. 34

Figura 4: Processo de instalação dos lisímetros de pesagem, (A) instalação das balanças mecânicas; (B) estrutura de alvenaria (C) caixa metálica; (D) preenchimento dos lisímetros; (E e F) disposição dos lisímetros em campo em Mossoró/RN, 2011. 41

Figura 5: Temperatura média, máxima e mínima diária registradas entre 01/11/2011 e 16/01/2012, para a área cultivada com o milho, em Mossoró/RN, 2011-2012. 57

Figura 6: Umidade relativa média, máxima e mínima diária registradas entre 01/11/2011 e 16/01/2012, na área cultivada com o milho, em Mossoró/RN, 2011-2012. 57

Figura 7: Velocidade do vento a 2 metros de altura média, máxima e mínima diária registradas entre 01/11/2011 e 16/01/2012, na área cultivada com o milho, em Mossoró/RN, 2011-2012. 58

Figura 8: Radiação global, radiação líquida medida e estimada diária registradas entre 01/11/2011 e 16/01/2012, na área cultivada com o milho, em Mossoró/RN, 2011-2012. 58

Figura 9: Relação entre a radiação líquida medida e estimada entre 01/11/2011 e 16/01/2012, em Mossoró/RN, 2011-2012. 59

Figura 10: Total da precipitação ao longo do ciclo do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012. 60

Figura 11: Calibração dos lisímetros 1, 2, 3 e 4: leituras das células de carga de acordo com a adição e subtração de pesos–padrão, em Mossoró/RN, 2011.....63

Figura 12: Variação de massa média dos lisímetros 1 e 2 (A) e 3 e 4 (B) em resposta a ETc do milho verde entre os dias 01 e 03/11/2011, em Mossoró/RN, 2011. 64

Figura 13: Variação de massa média dos lisímetros 1 e 2 (C) e 3 e 4 (D) em resposta a irrigação e chuva no cultivo do milho verde entre os dias 09 e 11/01/2012, em Mossoró/RN, 2012. 65

Figura 14: Variação de massa média dos lisímetros em resposta as perdas (ETc) e aos ganhos de massa (irrigação e chuva) durante o ciclo do milho, em Mossoró/RN, 2011-2012. 66

Figura 15: Comportamento das leituras das sondas em função da temperatura da água, em Mossoró/RN, 2011. 67

Figura 16: Variação da umidade do solo ao longo do ciclo da cultura do milho verde verificadas por meio das sondas 1 e 2 localizadas no lisímetro 3, sondas 3 e 4 localizadas no lisímetro 4 e as sondas 5, 6, Art4 e Art8 localizadas na área de plantio, em Mossoró/RN, 2011-2012. 68

Figura 17: Altura média e o diâmetro médio das plantas nos lisímetros e nas parcelas de plantio ao longo do ciclo da cultura do milho verde em. Mossoró/RN 2011-2012. 76

Figura 18: Número médio de folhas durante o cultivo do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012. 76

Figura 19: Evapotranspiração de referência (ETo_FAO), evapotranspiração da cultura medida (ETc_LIS) e evapotranspiração da cultura estimada (ETc_FAO) observada durante o ciclo do milho verde em, Mossoró/RN, 2011-2012. 80

Figura 20: Ação de umdecimento do solo por meio da irrigação ao longo do ciclo da cultura do milho, em Mossoró/RN, 2011-2012. 80

Figura 21: Coeficiente de cultivo (Kc) durante o ciclo da cultura do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012. 82

Figura 22: Análise de regressão entre os valores medidos e estimados da ETc do milho verde em escala diária (A) e semanal (B) e entre os kc's determinados pelos lisímetros e pela metodologia da FAO em escala diária (C) e semanal (D), em Mossoró/RN, 2011-2012. 84

Figura 23: Fase I-fase inicial: 10% de cobertura do solo - (semeadura-emergência) da cultura do milho verde em Mossoró/RN, 2011. 103

Figura 24: fase de crescimento: final da fase inicial até 80% da cobertura do solo (pendoamento-florescimento da cultura do milho verde em Mossoró/RN, 2011. 103

Figura 25: Fase III-fase intermediária: 80% de cobertura do solo até o início da maturação dos frutos, (produção-enchimento dos grãos) da cultura do milho verde em Mossoró/RN, 2011-2012. 104

Figura 26: Faze IV-fase final: do inicio da maturação até a colheita dos frutos (maturação-colheita) da cultura do milho verde em Mossoró/RN, 2011-2012. 104

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15

2. REVISÃO DE LITERATURA 18

2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO 18

2.1.1 Evapotranspiração de referência (ETo) e coeficiente de cultura (K_C) 19

2.1.2 Lisimetria 21

2.2 CULTURA DO MILHO 22

2.3 NECESSIDADES EDAFOCLIMÁTICAS DA CULTURA 25

2.4 NECESSIDADE HÍDRICA 26

2.5 BALANÇO HÍDRICO 27

2.6 TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY - REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO) 29

3. MATERIAL E MÉTODOS 31

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL 31

3.1.1 Estimativa da ETo horária e diária: Equação de Penman-Monteith-FAO 34

3.2 DETERMINAÇÃO DA ETc 39

3.2.1 Instalação dos lisímetros 39

3.2.2 Calibração dos lisímetros 42

3.2.3 Coeficiente de cultura (kc) 42

3.3 DETERMINAÇÃO DO K_C PELA METODOLOGIA DA FAO 42

3.3.1 Estimativa do coeficiente basal da cultura (K_{cb}) 43

3.3.2. Estimativa do coeficiente de evaporação do solo (K_e) 44

3.4 PREPARO, CONTROLE E MANEJO DAS IRRIGAÇÕES 47

3.5 INSTALAÇÃO E CALIBRAÇÃO DAS SONDAS TDR 47

3.6 COLETA DOS DADOS METEOROLÓGICOS, DAS CÉLULAS DE CARGA E DA UMIDADE DO SOLO 48

3.7 ANÁLISE DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA 48

3.8 ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE 49

3.9 COMPARAÇÃO ENTRE A ET_C MEDIDA E A ESTIMADA PELA METODOLOGIA DA FAO 56 51

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA 52

3.11 ANÁLISE ECONÔMICA 54
3.12 CUSTOS DE PRODUÇÃO E MEDIDAS DE RESULTADO ECONÔMICO 54
3.13 PREÇOS 55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 55
4.1 DADOS CLIMÁTICOS 55
4.2 CALIBRAÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS LISÍMETROS 60
4.3 CALIBRAÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS SONDAS TDR 66
4.4 DADOS DA FRAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SOLO UMEDECIDA POR IRRIGAÇÃO OU CHUVA (fw-FATOR DE MOLHAMENTO) DURANTE O CICLO DA CULTURA 71
4.5 PRODUTIVIDADE DA CULTURA E SEUS COMPONENTES 72
4.6 DESENVOLVIMENTO DA CULTURA 75
4.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA 79
4.8 INTERVALO DE CONFIANÇA PARA A MÉDIA DOS KC'S EM CADA ESTÁDIO FENOLÓGICO DA CULTURA 85
4.9 RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICA 86
5. CONCLUSÕES 88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89
ANEXOS 101

1. INTRODUÇÃO

Na produção vegetal a água é um fator fundamental. Qualquer cultura durante o seu ciclo de desenvolvimento consome grande volume de água, sendo que cerca de 98% deste volume passa através da planta, sendo transferido para a atmosfera pelo processo de transpiração. O fluxo de água é necessário para o desenvolvimento vegetal, sendo que o solo comporta-se como um reservatório dessa água, armazenando-a temporariamente e fornecendo-a as plantas à medida de suas necessidades.

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie diplóide e alógama, pertencente à família Poacea (Gramineae), originado há aproximadamente de sete a dez mil anos atrás na amplitude que vai desde o México até a América do Sul, além disso, é considerada uma das plantas cultivadas mais antigas e um dos vegetais superiores mais estudados.

A cultura do milho apresenta grande importância de ordem econômica e social no Brasil, e sua importância para a humanidade também está relacionada com a elevada produtividade, valor nutritivo e pelas diversas formas de utilização na alimentação humana e animal, *in natura* e na indústria de alta tecnologia.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho com uma participação média de 6% na sua oferta mundial sendo superado pelos estados unidos e china, que produzem, respectivamente, 44% e 21%.

Segundo dados do IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Ministério do planejamento e orçamento) a produção nacional do milho para o ano de 2012 deverá ser de 34,7 milhões de toneladas, sendo superior em 1,5% em relação ao ano de 2011. A participação na produção nacional, segundo as quatro maiores regiões produtoras, encontra-se assim distribuída: Sul (37,7%), Sudeste (30,1%), Nordeste (15,0%) e Centro- Oeste (13,3%). Os dois maiores estados produtores são Minas Gerais e o Paraná.

A produção de milho no ano de 2009 no Rio Grande do Norte segundo dados da CONAB (Companhia nacional de abastecimento) atingiu 43.173 toneladas, significando redução de 19,8% em relação ao ano de 2008, devido ao excesso de chuvas. Segundo dados do ETENE (Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste) com a relação à produção de milho na safra de 2010 a 2011 na região Nordeste, o Rio Grande do Norte ocupa a nona posição, apresentando uma produção total de 49,4 mil toneladas. Para o ano de 2012

de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística as perdas na agricultura de sequeiro irão girar em torno de 90% da produção obtida em 2011, devido efeitos da forte seca que assola o estado nesse ano.

A cultura do milho é explorada em todos os municípios do Estado do Rio Grande do Norte, visando à produção de grãos maduros e do chamado "milho verde". Contudo, segundo dados da EMPARN (Empresa de pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte) o rendimento médio da cultura nesse estado é extremamente baixo, em torno de 700 kg ha^{-1}, em relação à produção de grãos maduros que varia em média de 700 kg ha^{-1} cultivado em regime de sequeiro a 5.235 kg ha^{-1} se irrigado.

O conhecimento do consumo hídrico (evapotranspiração) de uma cultura durante seu ciclo é de grande importância para o dimensionamento e o manejo de projetos de irrigação, contribuindo para aumentar a produtividade e otimizar a utilização dos equipamentos de irrigação, da energia elétrica e dos recursos hídricos. Também torna possível quantificar melhor as lâminas de água usadas na irrigação e os turnos de regas, minimizando os desperdícios e mantendo o solo em uma faixa de umidade adequada às plantas. Dentre os usos múltiplos da água no cenário mundial, o setor de irrigação é o maior consumidor, alcançando uma média de 70%. No Brasil, estimativas indicam que esse percentual é da ordem de 61%. Por consumir grandes volumes de água, a irrigação pode ser equivocadamente responsabilizada por problemas de escassez. Entretanto, os benefícios da agricultura irrigada são imprescindíveis em estratégias de desenvolvimento econômico e social, tais como: geração de empregos e renda, sustentabilidade econômica e ambiental, combate à fome e desigualdade social.

À medida que se desenvolvem estratégias de irrigação, torna-se importante conhecer o efeito da deficiência hídrica em cada estádio de desenvolvimento das plantas, em que o crescimento, o desenvolvimento e a translocação de fotoassimilados encontram-se ligados à disponibilidade hídrica no solo.

A cultura do milho vem sendo cultivada nos últimos anos pelos produtores do Rio Grande do Norte, no período chuvoso, em rotação com o melão irrigado, como também, sob irrigação no período seco. Apesar de uma cultura de tradição na região, existem poucos estudos sobre o manejo de água para a cultura com destaque para Mossoró e para os municípios de Apodi e Baraúnas, principais polos produtores de milho do Alto-Oeste.

A evapotranspiração pode ser obtida de diferentes maneiras: de forma indireta, a partir de fórmulas teóricas ou empíricas baseadas em dados meteorológicos; ou de forma direta, por meio de lisímetros e pelo método das correlações turbulentas.

Na ausência de equipamentos de medidas de evapotranspiração da cultura, os pesquisadores, utilizam-se de estimativas baseadas na evapotranspiração de referência (ETo) e do coeficiente indicativo da necessidade de água da cultura (Kc), em cada estádio de desenvolvimento.

Os dados de Kc apresentados na literatura podem servir de referencial, quando na região onde está instalada a cultura, não existirem dados determinados em nível local. No entanto, a estimativa do Kc, para as condições reais da área onde está implantada a cultura, é desejável devido às variabilidades climáticas e diferentes práticas agronômicas adotadas em cada região.

O coeficiente de cultura (Kc) representa os valores de exigência hídrica das plantas e é determinado experimentalmente, variando com a cultura, com seu estádio de desenvolvimento, com o clima, além das práticas agronômicas adotadas.

Pesquisas vêm demonstrando que a evapotranspiração da cultura (ETc) não pode ser, simplesmente, estabelecida para todas as situações climáticas com um simples valor de Kc. Esses coeficientes, portanto, devem ser determinados para cada estádio de desenvolvimento da cultura.

Com base no exposto, o trabalho teve como objetivo principal determinar as necessidades hídricas da cultura do milho verde e obter os seus respectivos coeficientes de cultura nas diferentes fases fenológicas, e como objetivos específicos avaliar o crescimento; desenvolvimento; a produtividade e a análise econômica do milho verde cultivado irrigado por gotejamento nas condições edafoclimáticas de Mossoró–RN.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

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 determinação da demanda hídrica de uma cultura permite o ajuste de diversas práticas de manejo, como a irrigação, além do melhor planejamento da lavoura com vistas a aumentar o seu potencial produtivo, promovendo reduções de riscos e de custos para a produção, e aumento da eficiência de utilização da água, principalmente em regiões ou épocas em que há limitações hídricas (SANS et al., 2001; HEINEMANN et al., 2001; BERGAMASCHI et al., 2004).

Para determinar a evapotranspiração da cultura (ETc) é necessário obter a evapotranspiração de referência (ETo), que diz respeito às condições climáticas do local de interesse, conjuntamente com as características fisiológicas e morfológicas da cultura, representadas por meio do seu coeficiente de cultura (Kc), que incorpora características da planta (como o índice de área foliar) e efeitos da evaporação do solo, variando ao longo do ciclo em função da taxa de crescimento e, consequentemente, da variação da cobertura do solo (ALLEN et al., 1998).

Num experimento conduzido em Petrolina/PE com a cultivar de milho caatingueiro, cultivado sob irrigação por gotejamento durante o ciclo produtivo, o milho recebeu uma lâmina de água total correspondente a 352,57 mm (SOUZA et al., 2008).

Almeida (2012) obteve uma ETc total durante o ciclo da cultura do milho, híbrido AG 1051 de 316,7 e 322,8 mm nos lisímetros S1 e S5, respectivamente, sob condições de cultivo em um solo com salinidade residual.

Independente do sistema de cultivo adotado, o conhecimento apenas da necessidade total de água pela cultura não implica num manejo eficiente da irrigação, sendo imprescindível, o conhecimento das necessidades hídricas da cultura nos diferentes estádios ou fases fenológicas do seu ciclo (MENDONÇA et al., 2007; SOUZA et al., 2011a).

2.1.1 Evapotranspiração de referência (ETo) e coeficiente de cultura (K_C)

Em maio de 1990, a FAO organizou uma reunião de especialistas e pesquisadores, com a colaboração da Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem e a Organização Mundial de Meteorologia, para revisar as metodologias de determinação das necessidades hídricas das culturas e produzir orientações para revisões e atualizações dos procedimentos utilizados. Dessa reunião se desenvolveram algumas alterações no método Penman-Monteith, como a cultura de referência que passou a ser denominada como uma cultura hipotética com altura média de 0,12 m, com uma resistência à superfície de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23. Estas novas alterações superaram as limitações que o método tinha e alcançou valores mais consistentes com dados reais de consumo de água pelas culturas obtidos mundialmente, o que sugeria que o método de Penman-Monteith se tornaria padrão para a estimativa da ETo (ALLEN et al., 2006).

Mudanças quanto ao cálculo da evapotranspiração horária foram propostas, criando-se uma outra forma de se escrever a mesma equação, com constantes de intervalo de tempo horário ou diário (ASCE-EWRI, 2005). A estimativa da evapotranspiração de referência horária em regiões semi-áridas pode ser feita utilizando a metodologia FAO Penmam-Monteith segundo (LÓPEZ-URREA et al., 2007).

Segundo Allen et al. (1998) e Pereira (2004), a evapotranspiração de referência (ETo) apresenta maior dependência dos elementos do clima. A ETo expressa o poder de evaporação da atmosfera de um local e tempo específico e não leva em consideração as características da cultura e fatores do solo. O método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO para o cálculo da ETo, é o melhor método a se utilizar quando se tem dados climáticos completos e assim poder estimar as necessidades de água para a irrigação (ALLEN et al., 2007).

O Kc 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).

Allen et al. (2006) apresentam valores de Kc para uma ampla gama de culturas e demonstra um método que utiliza apenas três valores de Kc (estágio inicial, médio e final) para traçar um gráfico de variação do Kc 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, consequentemente, interferir no Kc 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 Kc dual, que consiste em dividir o Kc em dois componentes, um relacionado à planta (Kcb), ou basal, e outro relacionado a evaporação do solo (Ke), onde o Kc = Kcb + Ke.

O coeficiente basal (Kcb) representa a relação entre a a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência ETc/ETo, quando lhe 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 Ke possui peso maior na determinação do Kc durante a fase inicial da cultura, pois é o momento em que o solo se apresenta exposto e a capacidade transpirométrica 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 Kc único). O cálculo do Kc dual possibilita uma maior acurácia, uma vez que o Ke 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).

O coeficiente de cultura é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura (ETc), sob condições de não estresse hídrico e salinização, controle de pragas, doenças e plantas daninhas no cultivo de uma cultura em pleno desenvolvimento vegetativo e a evapotranspiração de uma cultura hipotética de referência (ETo). Este coeficiente relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência, além de representar o uso de água de uma cultura específica, que é de importância relevante para a estimativa do seu requerimento hídrico, necessário tanto para o dimensionamento de sistemas de irrigação quanto para a operacionalização de perímetros irrigados (LIMA et al., 2010).

Ferreira et al. (2007) ao conduzirem um experimento em Teresina–PI para determinar o Kc do milho por meio de lisímetros de pesagem em sistema de monocultivo e consorciado com o feijão caupi (*Vigna unguiculata*), em seus diferentes estádios de desenvolvimento, objetivando o manejo racional da irrigação e a definição de parâmetros para o zoneamento de risco climático de culturas consorciadas, obtiveram Kc’s médios de 0,88, 1,18 e 1,01, para o milho em sistema de monocultivo para as fases de semeadura-pendoamento, pendoamento-espigamento e espigamento-maturidade fisiológica, respectivamente. O Kc do milho em

consórcio com o feijão caupi apresentou valores médios de 0,90, 1,48 e 1,06, para essas mesmas fases.

Souza et al. (2008) na condução de um experimento realizado no Campo Experimental da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, com a cultivar de milho caatingueiro, cultivado sob irrigação por gotejamento utilizando três diferentes métodos para obtenção dos valores de Kc: balanço hídrico no solo, equação proposta pela FAO e um modelo de ajuste da variável graus-dias aos valores de Kc, mostraram que não houve diferença entre os métodos analisados, e os valores de Kc obtidos pelo método do balanço hídrico no solo foram 0,86, 1,23, 0,97 e 0,52, respectivamente para as fases I, II, III e IV.

2.1.2 Lisimetria

Os lisímetros, desenvolvidos há mais de 60 anos, são dispositivos que contém um determinado volume de solo representativo da área de interesse, onde é possível controlar e medir os componentes do balanço hídrico no sistema solo-planta-atmosfera, sob tratos culturais e condições climáticas específicas (FARIA et al., 2006; PUPPO; PETILLO, 2010).

A utilização de lisímetros é uma ferramenta extremamente importante para tentar reproduzir as condições reais de campo (LOOS et al., 2007).

Os lisímetros são divididos basicamente em duas categorias: os de pesagem e os de não pesagem. Os de pesagem envolvem vários princípios e dispositivos de medida que podem ser balanças mecânicas que apresentam um sistema de alavancas com braço de apoio ligado às células de carga indicadoras de esforço, onde a variação da massa do lisímetro tem sido medida por células de carga que alteram uma corrente variando sua resistência em função de micro deformação causada pela variação da massa sustentada.

As condições físicas e da umidade do solo no lisímetro precisam aproximar-se o máximo possível, das condições do solo da área externa. A vegetação plantada dentro do lisímetro deve ser da mesma espécie, altura e densidade da vegetação externa. Alguns cuidados devem ser tomados para manter idênticas as condições dentro e fora do lisímetro para se evitar problemas como o efeitos oásis (área úmida circundada por área seca) e buquê (plantas maiores dentro do lisímetro), além disso visualmente, a presença do lisímetro na área de estudo deve ser pouco perceptível para que tais efeitos se minimizem (MELO, 2009).

Segundo Silva (2003), os lisímetros, quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração, principalmente quando os mesmos são preenchidos corretamente, pois, assim, as camadas de solo no seu interior assemelham-se o máximo possível às camadas de solo da área externa.

Por apresentar custos elevados, o uso de lisímetros tem ficado restrito a instituições de pesquisas, sendo sua utilização justificada pela possibilidade da obtenção de medidas precisas e exatas que sirvam de referência na calibração dos métodos de estimativa da ETo utilizados pelos irrigantes, tais como as equações empíricas e o método do tanque classe "A", quando instalado e operado com os devidos cuidados (PEREIRA, 2004).

A determinação do consumo de água e dos coeficientes de cultura por meio da utilização de lisímetria 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).

2.2 CULTURA DO MILHO

O milho é a espécie de importância agrícola que apresenta maior potencial de utilização da radiação solar para conversão do carbono mineral em carbono orgânico, para posterior acúmulo nos grãos (SLAFFER; OTEGUI, 2000).

A cultura do milho apresenta grande importância devido a sua produção em grande volume sobre imensa área cultivada, bem como o seu valor nutricional e o papel sócio-econômico que representa. O milho serve de matéria prima básica para uma série de produtos industrializados, passando a gerar emprego e renda para milhares de pessoas que estão envolvidas na cadeia produtiva do milho, desde o transporte a comercialização desse cereal.

É usado diretamente na alimentação humana e de animais domésticos, que em última análise chegam à mesa do consumidor na forma de carne, ovos, leite, queijos, entre outros. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% são destinados a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (EMBRAPA, 2000).

O milho verde é considerado, por nutricionistas, um excelente alimento e, pela sua composição, pode ser consumido por todas as pessoas e em qualquer idade. Possui cerca de 1.290 calorias por kg; 3,3% de proteínas; 27,8% de glicídios e somente 0,8% de gordura. Além dos minerais, o milho verde é rico em vitaminas, em especial as do complexo B, muito importante para o bom funcionamento do sistema nervoso. Além disso, o grão também contribui para adiar os processos inflamatórios naturais do envelhecimento, portanto, ajuda a manter o corpo jovem por mais tempo.

A cultura do milho verde sempre foi uma tradição no Brasil e se tornou uma alternativa de grande valor econômico para pequenos e médios agricultores em razão do bom preço de mercado e da demanda pelo produto in natura. O milho pode ser consumido cozido ou assado, na forma de curau, como suco e ingrediente para fabricação de bolo, biscoitos, sorvetes e pamonhas. O milho verde faz parte da culinária brasileira, originária dos índios.

A exploração da cultura pode ser realizada durante o ano todo, utilizando-se irrigação. O escalonamento da produção, aliado a facilidade de transporte no interior do país e o desenvolvimento de técnicas agrícolas tem permitido um fluxo constante do produto para a comercialização. A planta de milho pode ser aproveitada praticamente em sua totalidade. Após a comercialização das espigas, os restos da planta podem ser aproveitados para posterior incorporação ou como cobertura do solo para plantio direto, ou ainda, sendo triturado para compor a silagem para a alimentação animal (MORAES, 2009).

Apesar da eficiência fotossintética das plantas C4, existem duas características intrínsecas às plantas de milho que diminuem potencialmente a interceptação de luz pelas folhas. Uma das maiores limitações decorre da natureza alterna e oposta das folhas ao logo do perfil da planta, ocasionando o autosombreamento das folhas inferiores. Outra característica é a presença do pendão que, inativo logo após a fertilização, pode proporcionar o sombreamento das plantas em até 19%, dependendo do genótipo (MAGALHÃES; PAIVA, 1993).

A alta produtividade de grãos observada na cultura do milho ocorre devido o seu mecanismo fotossintético (planta C4), pelo qual é mantida alta a relação CO_2:O_2, o que reduz a fotorespiração (EHLERINGER et al.,1997).

A arquitetura foliar ereta do híbrido simples favorece a interceptação de radiação, minimizando assim o sombreamento entre folhas, isso faz com que ocorra o aumento da disponibilidade de carboidratos durante a floração, e sustenta o desenvolvimento das espigas e grãos em alta densidade (SANGOI et al., 2002).

O milho é considerado o cereal mais eficiente para a produção de grãos, principalmente pela contribuição de seu tamanho, por ser dotado de considerável área foliar, colmo forte e alto, com abundante e eficiente sistema vascular. A fotossíntese, respiração, e a transpiração, são processos fisiológicos da planta do milho que resultam diretamente da energia disponível no ambiente, comumente chamada de calor (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Segundo Pereira et al. (2007), a duração das fases e do ciclo de desenvolvimento dos vegetais e dos insetos é condicionada pela temperatura, além do tempo que ela permanece dentro de certos limites específicos. Um índice bioclimático que tem sido usado para estudar essa relação é denominado de graus-dias (GD), ou seja, quantos graus de temperatura ocorreram durante um dia e que efetivamente contribuíram de maneira positiva com o metabolismo do organismo considerado já para Oliveira et al. (2006) cada grau-dia corresponde a um grau de temperatura acima da temperatura–base da cultura.

Segundo Nesmith e Ritchie (1992), um dos métodos utilizados para relacionar temperatura com desenvolvimento do milho é o da soma de temperaturas, unidades térmicas ou graus-dia (GD), definida como o acúmulo térmico, acima de uma temperatura base, necessária para que a planta atinja um determinado estádio fenológico de seu desenvolvimento.

A disponibilidade térmica tem influência direta sobre o desenvolvimento fenológico das plantas, de tal forma que locais ou períodos mais quentes determinam o seu desenvolvimento mais rápido. Logo, em regiões ou mesmo em épocas mais quentes, há maior precocidade no desenvolvimento das plantas (BERGAMASCHI, 2006).

O milho, cultivado para produção de grãos, apresenta o seu ciclo em torno de 150 a 180 dias, o que não condiciona um tempo hábil ao plantio de uma nova cultura comercial em sucessão. Uma alternativa, principalmente para pequenos produtores, é o cultivo de milho para ser colhido como “milho verde” (OLIVEIRA et al., 2003).

O cultivo de milho destinado à produção de milho verde vem aumentado de forma significativa, em função de sua lucratividade, pois na forma de grãos verdes, o valor de comercialização é maior, quando comparado com o milho na forma de grãos secos, além disso, a sua produção absorve, principalmente a mão-de-obra familiar, que contribui para a geração de empregos em pequenas e médias propriedades, particularmente na época da colheita, sendo realizada de forma manual (CRUZ et al., 2006).

Segundo Matos et al. (2007) outro fator que contribui para o crescimento da produção de milho verde é a maior diversificação de uso desse produto pelo mercado, podendo ser

comercializado para consumo nas mais diversas formas, desde os grãos *in natura*, cozidos ou como ingrediente na fabricação de diversos produtos da culinária brasileira sendo por isso comercializado em todo o Brasil.

Embora os números relativos à produção de milho verde sejam mais modestos do que os relativos à produção de grãos, seu cultivo no Brasil cresce a cada ano devido ao valor agregado ao produto e seus derivados (VIEIRA, 2007). O mercado de milho para alimentação humana é promissor, em especial na região Nordeste do país, onde o cultivo do milho verde ocorre, atualmente, durante todo o ano, inclusive sob condições de irrigação.

2.3 NECESSIDADES EDAFOCLIMÁTICAS DA CULTURA

O milho é uma cultura originalmente tropical, que se desenvolve em dias curtos e com altas taxas fotossintéticas, exigindo, assim, um clima quente, para expressar seu potencial de produção, podendo, então, constituir-se em uma boa alternativa de cultivo para os produtores rurais (EVANGELISTA et al., 2005).

Segundo Matos (2007), solos de textura média, com teores de argila em torno de 30-35%, ou mesmo argilosos, com boa estrutura, como os latossolos, que possibilitam uma drenagem adequada, apresentam boa capacidade de retenção de água e de nutrientes disponíveis às plantas, são os mais recomendados para a cultura do milho. Os solos arenosos (teor de argila inferior a 15%) devem ser evitados, devido à sua baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Alguns solos com tipo de argila expansiva (tipo montmorilonita) podem apresentar forte agregação, prejudicando as condições de permeabilidade e a livre penetração do sistema radicular, por isso também devem ser evitados.

Segundo Palhares (2003), a produtividade da cultura de milho depende diretamente da relação intrínseca estabelecida entre a planta e o ambiente físico em que se encontra, com ênfase para a temperatura, luz, ventos e disponibilidade hídrica, o que determina a adaptação de diferentes genótipos para diferentes ambientes, em função do manejo adotado.

A cultura do milho necessita em média de 2.100 a 2.200 ou mais de graus dias para seu desenvolvimento vegetativo, sendo que a temperatura média para a cultura varia de 24°C a 32°C. Porém, quando a disponibilidade de água no solo for baixa, a temperatura ótima para seu crescimento fica abaixo de 27°C (BISCARO et al., 2008).

Em condições de clima tropical, o milho produz uma significativa quantidade de biomassa, especialmente sob condições de alta disponibilidade de água no solo. No entanto, sob estresse hídrico, as respostas fisiológicas do milho tendem a ser modificadas, a depender da duração, severidade e da fase fenológica de ocorrência (MOURA et al., 2006).

Em resumo a interação clima e solo tem um papel primordial no processo produtivo de uma cultura. Enquanto o conteúdo de água no solo não atingir um teor crítico, que para a cultura do milho está em torno de 30% da água extraível, o que rege o consumo de água pela cultura são as condições climáticas. Abaixo desse limite crítico, o que define o consumo são as condições físico-hídricas do solo (EMBRAPA, 2012).

2.4 NECESSIDADE HÍDRICA

A exigência hídrica do milho é variável, dependendo dos fatores climáticos reinantes no período de desenvolvimento, da variedade e do estádio da cultura. Se houver deficiência hídrica uma semana após surgirem anteras, pode ocorrer uma queda de 50% na sua produção (DOORENBOS, 2000).

A irrigação para a cultura do milho pode ser viável economicamente quando o fator limitante é a água e/ou o preço de venda do produto é favorável, o que possibilita a minimização de risco e estabilidade no rendimento (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

A cultura do milho necessita em torno de 7 mm por dia de água durante o florescimento, quando este ocorre próximo ao solstício de verão, que é o período de máxima radiação solar. Com 67 mil plantas ha^{-1}, um híbrido precoce de milho necessita de uma média de 650 mm de água em todo o seu ciclo (BERGAMASCHI et al., 2001).

Segundo Doorenbos e Kassam, (1994) e Bernardo (1995) para produção de grãos, a evapotranspiração do milho é em torno de 500 a 700 mm, no entanto, a lâmina de irrigação necessária em um cultivo de milho para produção de espigas verdes em Teresina-PI, foi de 450 mm para um período de cultivo de 75 dias (julho a setembro) (CARDOSO et al., 2002).

A cultura do milho apresenta exigência mínima de 300 a 350 mm de água para uma produção satisfatória sem o uso de irrigação. Entretanto, essa quantidade deve ser bem distribuída durante o ciclo da cultura. Segundo o critério agronômico de tolerância à seca, o milho é considerado uma cultura relativamente sensível ao déficit hídrico, principalmente se

ocorrer durante o período crítico de pré-floração e floração (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

O milho é uma planta relativamente tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, porém demonstra extrema sensibilidade, com decréscimo no rendimento de grãos, se ocorrer falta de água nas fases de florescimento e de enchimento de grãos (BERGAMASHI et al., 2004).

O milho é considerado uma cultura que demanda muita água, mas também é uma das mais eficientes no uso da água, isto é, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida. O milho de variedade de ciclo médio cultivado para a produção de grãos secos consome de 400 a 700 mm de água em seu ciclo completo dependendo das condições climáticas (EMBRAPA, 2006). O período de máxima exigência é na fase do embonecamento ou um pouco depois dela. Por isso déficits de água que ocorrem nesse período são os que provocam maiores reduções de produtividade. Déficit anterior ao embonecamento reduz a produtividade em 20 a 30%; no embonecamento em 40 a 50% e após em 10 a 20%. A extensão do período de déficit também é importante (ANDRADE et al., 2006).

A evapotranspiração do milho pode variar dependendo da finalidade do cultivo (grãos ou espigas), local e época de cultivo, material genético utilizado, dentre outros fatores (BLANCO et al., 2009).

Por razões essencialmente econômicas, o milho tem sido plantado principalmente no período chuvoso, uma vez que a cultura demanda um consumo mínimo de 350 a 500 mm para garantir uma produção satisfatória sem necessidade de irrigação. Em condições de clima quente e seco, a cultura do milho raramente excede um consumo de 3 mm dia^{-1} de água, já no período que vai da iniciação floral à maturação, o consumo pode atingir de 5 a 7 mm dia^{-1}. As maiores produtividades têm ocorrido associadas a consumos de água entre 500 e 800 mm considerando todo o ciclo da cultura (EMBRAPA, 2012).

2.5 BALANÇO HÍDRICO

Uma das exigências para o êxito da técnica de irrigação é o conhecimento da exigência hídrica do cultivo. O balanço de água no solo é um método usado para prever a variação no conteúdo de água no solo na região ou no volume de solo que engloba o sistema radicular da

cultura. É uma forma de se fazer o manejo da irrigação, levando-se em consideração a capacidade de armazenamento de água do solo e as entradas (chuva, irrigação) e saídas (evapotranspiração) de água. Esse método normalmente considera uma condição de água no solo que não deve causar déficit ou excesso ao sistema radicular da cultura, contribuindo, portanto, para que ela obtenha o mais alto rendimento técnico. Por isso, o turno e as lâminas de irrigação assim obtidos podem variar continuamente ao longo do ciclo da cultura (PEREIRA et al., 2002).

Segundo Reichardt e Timm (2004), o balanço hídrico trata-se do somatório das quantidades de água que entram e saem de um volume de solo, em determinado intervalo de tempo, durante o ciclo de uma cultura, e, apresenta componentes que contribuem positivamente, aumentando a umidade do solo no volume de controle, ou negativamente, reduzindo a disponibilidade de água no solo, sobretudo na profundidade do sistema radicular efetivo, sendo necessário avaliar a umidade pelo menos na profundidade, ocupada por 95% do sistema radicular ativo. Este método avalia em determinado período de tempo, os vários processos de fluxo de água no solo por meio da contabilização da precipitação pluviométrica, da irrigação, da drenagem, da variação no armazenamento de água no solo, do escoamento superficial e da evapotranspiração.

As entradas e saídas de água no solo são determinadas pelos fenômenos que ocorrem na interface entre solo, vegetação e atmosfera. Esses fenômenos exercem forte influência no balanço hídrico. A maior dificuldade em representar os processos hidrológicos, diz respeito a grande heterogeneidade dos sistemas envolvidos, ou seja, a grande variabilidade do solo e da cobertura vegetal (TUCCI, 2004).

O estabelecimento de balanços hídricos no campo é difícil e dispendioso. O maior problema para obter resultados confiáveis diz respeito à variabilidade de seus componentes. Entre as variáveis do balanço hídrico, a de mais difícil obtenção, por procedimentos práticos de medição, é a evapotranspiração (PERUCHI, 2009; MEDEIROS, 2008).

Segundo Feltrin (2009), os dados resultantes do balanço hídrico podem ser utilizados na aplicação e calibração de modelos matemáticos, visando à simulação hidrológica em bacias hidrográficas.

2.6 TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY - REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO)

Os métodos de determinação do teor de umidade do solo são normalmente classificados como diretos ou indiretos. Os métodos diretos envolvem alguma forma de remoção ou separação da água da matriz do solo, medindo diretamente a quantidade de água removida, o que pode ser obtido por aquecimento, por utilização de solvente ou por reação química. Os métodos indiretos determinam alguma propriedade física ou química relacionada à umidade do solo, como a constante dielétrica (ou permissividade dielétrica), condutividade elétrica, capacidade térmica, conteúdo de hidrogênio ou susceptibilidade magnética (TOPP; FERRÉ, 2002).

Segundo Green et al. (2006) os estudos que envolvem a extração de água no solo pelas plantas tem sido um desafio à ciência nas últimas décadas, com isso o desenvolvimento e aplicação de novas técnicas de medida da extração de água no solo ocorreram após a aplicação da reflectometria no domínio do tempo para determinação do conteúdo de água no solo (TOPP et al., 1980).

Estudos realizados por Coelho e Or (1998) com o uso da técnica TDR para verificar a extração de água de plantas de milho irrigadas por gotejamento superficial e subterrâneos verificaram que a densidade de comprimento de raízes pode não ser um indicativo das zonas de extração de água, pois a absorção de água pelas plantas varia no espaço em resposta as condições de água no solo.

O principio de funcionamento da reflectometria do tempo é o seguinte: através de uma haste metálica de comprimento L é medido um pulso de voltagem, que irá se propagar até o final da haste onde encontrará um estrangulamento eletrônico, causado pela mudança de impedância, e um pulso ressonante irá retornar até o início da haste. Medindo o tempo t transcorrido entre a emissão do pulso e a recepção do eco pode-se determinar a velocidade de propagação e assim a permissividade dielétrica relativa do meio que contém a haste.

A constante dielétrica do solo, Equação 1 é determinada utilizando um equipamento constituído basicamente de um emissor de pulso, cabos, hastes (normalmente duas ou três) e um interpretador de sinal, que percebe a emissão do pulso eletromagnético e a chegada do pulso refletido, determinando assim o tempo de percurso.

$$K = \left(\frac{ct}{2L} \right)^2 \quad (1)$$

Onde:

K: constante dielétrica do meio

c: velocidade da luz no vácuo

t: tempo de percurso

L: comprimento da haste

A técnica do TDR pode ser utilizada ainda em aplicações para o desenvolvimento de métodos para determinação da condutividade hidráulica do solo (MELO FILHO, 2003). Devido à sua facilidade na obtenção de medidas não destrutivas e sem apresentar riscos para o ser humano e o ambiente, o TDR tem sido bastante utilizado para quantificar o conteúdo de água do solo, embora apresente desvantagens, como o alto custo, a complexa calibração e a existência de alguns erros inerentes à própria técnica (TOMMASELLI, 1997).

Além disso, existem algumas considerações práticas que influenciam na determinação da constante dielétrica (K), que precisam ser consideradas na execução de ensaios, tais como a metodologia da análise utilizada para estabelecer o valor do comprimento aparente (La), a constante dielétrica dos minerais contidos no solo, efeitos de temperatura, teor de sais no solo, granulometria do solo, teor de matéria orgânica, limitação do comprimento do cabo coaxial, tipo de sonda empregada e o contato solo-sonda.

Considerando que a constante dielétrica é uma característica altamente correlacionada com o teor de água, torna-se possível estabelecer uma relação entre ambas de forma que se possa a partir de uma determinar-se a outra, então, Topp et al (1980). propuseram uma relação empírica entre umidade do solo (θ) e constante dielétrica (k), (Equação 2), que serviria para uma ampla gama de tipos e texturas de solos, motivo pelo qual esta relação ficou conhecida como “Equação Universal” de calibração do TDR (GUERRA, 2000).

$$\theta = 0{,}053k + 0{,}0229k - 0{,}00055k^2 + 0{,}0000043k^3 \quad (2)$$

Onde:

θ = $cm^3\ cm^{-3}$

k = constante dielétrica do meio

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada na comunidade de Alagoinha (5^{o}03'37"S; 37^{o}23'50"W e altitude de 72 m), pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), distante 20 km da cidade de Mossoró/RN, Figura 1. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSwh', isto é, clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média anual de 27,4 ^{o}C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% (CARMO FILHO; OLIVEIRA, 1995).

Segundo a classificação climática de Thornthwaite, que está baseada numa série de índices térmicos utilizando-se o balanço-hídrico da região, Mossoró apresenta um clima do tipo DdA'a', ou seja, Semi-árido, megatérmico com pouco ou nenhum excesso de água durante o ano (SANTOS, 2010).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico (EMBRAPA, 1999).

Uma área de 0,27 ha foi cultivada na Fazenda experimental Rafael Fernandes com a cultura do milho (*Zea mays* L.), híbrido AG 1051, que segundo Castro, (2010) é um híbrido duplo, semiprecoce, apresenta grão amarelo e dentado, alta resistência ao acamamento, altura de inserção da primeira espiga de 1,60 m e altura da planta de 2,60 m, desenvolvido para produção de grãos, silagem e espigas verdes. A configuração de plantio utilizada foi em fileiras duplas (1,3 x 0,2 x 0,2 m) sendo 0,2 m entre plantas, 0,2 m entre fileiras simples e 1,3 m entre fileiras duplas. O preparo do solo foi realizado por meio de aração com o arado fixo e gradagem com grade niveladora. A semeadura foi realizada de 01 a 03/11/2011, semeando-se 2 sementes por cova, (FIGURA 2) e entre 13 e 14 dias após a emergência de plântulas foi feito o desbaste, permanecendo apenas uma planta por cova, resultando numa população de aproximadamente 66.667 plantas ha^{-1}, sendo que foi realizado o replantio entre 4 e 5 dias após a emergência das plântulas. O controle das plantas daninhas foi feito por meio de capinas manuais com enxada obedecendo-se o período crítico de competição 20 a 60 dias após emergência (DAE). Para controlar as pragas, como a lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*) e a lagarta

do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi feito o controle químico por meio da aplicação dos inseticidas Lannate BR (Metomil-Etanol-0,6 L ha^{-1}), Decis 25 EC (Deltametrina-200 ml ha^{-1}), Premio (Chlorantraniliprole-100 a 125 ml ha^{-1}) e Lorsban 480 BR (Clorpirifós-0,4 a 0,6 L ha^{-1}), o ciclo total foi de 77 dias para milho verde.

A área foi irrigada com um sistema de irrigação localizada, por gotejamento, constando de 40 linhas laterais, uma linha lateral para cada fileira dupla de plantio, com comprimento de 45 m e emissores espaçados de 0,3 m, operando a uma pressão de 100 kPa, vazão de 1,5 L h^{-1} e eficiência de irrigação de 90%. A irrigação nos lisímetros foi feita através de um sistema independente, instalado próximo a cada lisímetro (FIGURA 3), utilizando-se espaguetes (microtubos) para distribuição de água às plantas, que simulava a irrigação por gotejamento. Essa técnica foi utilizada, para obter um maior controle no volume de água que entrava no sistema (lisímetro), sendo que a lâmina de água aplicada foi calculada com base no tempo de irrigação aplicado na área experimental. A lâmina bruta total de água aplicada durante o ciclo da cultura foi de 333,93 mm, sendo 3,65 mm por meio da precipitação e 330,28 mm via irrigação. As irrigações foram realizadas com intervalo médio de um dia.

Na Tabela 1, verifica-se o resultado da análise química do solo para fins de fertilidade do solo. Foi feita a aplicação de 25 g m^{-1} de P_2O_5, utilizando-se como fonte o fosfato monoamônico (MAP) na adubação de fundação nas 40 linhas de plantio totalizando 45 kg (166,67 kg ha^{-1}), já a adubação de cobertura, foi efetuada aos 13 dias após a emergência das plântulas via fertirrigação até o final do ciclo da cultura. As fontes dos nutrientes N, P e K foram aplicadas sob a forma de (uréia, ácido fosfórico e cloreto de potássio), sendo aplicado em média 1,5 kg de uréia e cloreto de potássio (5,56 kg ha^{-1}), totalizando 37,4 kg (128,52 kg ha^{-1}) e em média 1 L de ácido fosfórico na área de plantio (3,70 L ha^{-1}), totalizando 23 L (85,19 L ha^{-1}) sendo que nos quatro lisímetros foi aplicado em média 5 g de uréia e cloreto de potássio (1,25 g por lisímetro), totalizando 124,67 g (31,17 g por lisímetro) e em média 3,33 ml de ácido fosfórico (0,83 ml por lisímetro), totalizando 76,67 ml (19,17 ml por lisímetro). Aos 24 dias após a emergência das plântulas foi aplicado 300 ml na área de plantio (1,11 L ha^{-1}) de um micronutriente contendo Cálcio, Magnésio e Boro (Ca + Mg + B), sendo aplicado 1 ml nos quatro lisímetros (0,25 ml por lisímetro).

Figura 1: Localização da Fazenda experimental Rafael Fernandez, Universidade Federal Rural do Semi–Árido, Mossoró–RN, 2011.

Figura 2: Configuração da semeadura na área experimental, Mossoró–RN, 2011.

Figura 3: Detalhe da irrigação dos lisímetros instalados na área experimental, Mossoró–RN, 2011.

Tabela 1: Características químicas do solo, Mossoró/RN, 2011.

Solo – profundidade (0-20 cm)							
P	K^+	Ca^+	Mg^{2+}	Na^+	Soma de Bases	Al^{3+}	pH
					($cmol_c\ dm^{-3}$)		
0,09	0,15	1,20	0,70	0,17	2,22	0,00	7,90

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

3.1.1 Estimativa da ETo horária e diária: Equação de Penman-Monteith-FAO

A ETo foi determinada, segundo Allen et al. (2006) para fins de padronização dos procedimentos de cálculos, pela Equação Penman-Monteith-FAO:

$$ETo = \frac{0{,}408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} V_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34 V_2)} \quad (3)$$

Onde:

ETo - evapotranspiração de referência, mm dia^{-1};

Rn - 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 - parâmetro psicrométrico, kPa $°C^{-1}$.

Todo o procedimento de cálculo da ETo foi realizado de acordo com Allen et al. (2006), conforme sequência apresentada abaixo.

A declividade da curva de pressão de vapor (Δ) em função da temperatura no ponto de Tméd foi definida como:

$$\Delta = \left(\frac{4098.e_s}{(T_{méd} + 237{,}3)^2} \right) \quad (4)$$

A pressão de saturação de vapor foi calculada de acordo com a Equação 5, demonstrada abaixo:

$$e_s = \frac{(e_s Tmáx + e_s T\min)}{2} \quad (5)$$

onde: $e_s Tmáx$ representa a pressão de saturação de vapor à temperatura máxima (kPa) e $e_s T\min$ a pressão de saturação de vapor à temperatura mínima (kPa), e foram estimadas pelas seguintes equações:

$$e_s Tmáx = 0{,}6108.\exp\left(\frac{17{,}27.T_{máx}}{237{,}3 + T_{máx}} \right) \quad (6)$$

$$e_s T\min = 0{,}6108.\exp\left(\frac{17{,}27.T_{min}}{237{,}3 + T_{min}}\right) \quad (7)$$

A pressão atual de vapor (e_a) foi estimada por:

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

Onde:

$UR_{máx}$ e UR_{min}: Umidade Relativa máxima e Umidade Relativa mínima, em decimal.

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

$$Rn = Rns - Rnl \quad (9)$$

em que:

Rns é o saldo de radiação de ondas curtas e Rnl o saldo de radiação de ondas longas.

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

$$Rns = (1 - \alpha).Rs \quad (10)$$

sendo α o albedo da superfície, que representa a capacidade de reflectância da superfície da cultura de referência, cujo valor indicado é 0,23 e Rs a radiação global em (MJ m^{-2} dia^{-1}).

O cálculo do saldo de radiação de ondas longas foi determinado por meio da Equação 11 que se baseia na lei de Stefan-Boltzman em que a energia irradiada de uma superfície é proporcional a temperatura do corpo elevada a quarta potência em graus Kelvin.

$$Rnl = \sigma.(0{,}34 - 0{,}14\sqrt{e_a})\left(\frac{T_{máx,k}{}^4 + T_{mín,k}{}^4}{2}\right)\left(1{,}35\frac{Rs}{Rso} - 0{,}35\right) \quad (11)$$

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 em K;

$T_{mín,k}$: temperatura mínima diária absoluta em K; e

Rso: radiação solar em dia de céu claro, ou seja, sem nuvens em (MJ m^{-2} dia^{-1}), quando n=N onde n é a insolação e N o fotoperíodo em horas.

Sendo Rso estimada pela seguinte equação:

$$Rso = (0{,}75 + 0{,}00002.z).Ra \quad (12)$$

onde: z representa a altitude local em m e Ra a radiação no topo da atmosfera (MJ m^{-2} dia^{-1}),
A radiação solar no topo da atmosfera (Ra) é expressa através da Equação 13:

$$Ra = 37{,}586.dr\left(H.sen(\varphi).sen(\delta) + \cos(\varphi).\cos(\delta).sen(H)\right) \quad (13)$$

em que:
dr: distância relativa terra-sol (adimensional); 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) adimensional, declinação solar (δ) e o ângulo horário no pôr-do-sol (H) (rad).

$$dr = 1 + 0{,}033.\cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (14)$$

$$\delta = 0{,}409.sen\left(\frac{2\pi}{365}J - 1{,}39\right) \quad (15)$$

$$H = ar\cos\left(-\tan\varphi.\tan\delta\right) \quad (16)$$

sendo: J o número do dia do calendário juliano.

O boletim da FAO 56 recomenda que para períodos diários, a densidade de fluxo de calor no solo pode ser desprezível, ou seja, G = 0, devido o fluxo de calor no solo ser relativamente pequeno em relação ao saldo de radiação.
O parâmetro psicrométrico γ foi determinado por:

$$\gamma = \frac{c_p \cdot P}{\varepsilon \cdot \lambda} \quad (17)$$

em que: c_p é o calor específico a pressão constante ($1{,}013.10^{-3}$ MJ kg^{-1} $°C^{-1}$); ε é a relação entre a massa molecular do vapor da água e do ar seco (0,622); P é a pressão atmosférica, em kPa,
expressa pela Equação 18

$$P = 101{,}3.\left(\frac{293 - 0{,}0065.z}{293}\right)^{5{,}26} \quad (18)$$

Sendo z a altitude local, em m, e λ, o calor latente de vaporização (MJ kg^{-1}), expresso por:

$$\lambda = 2{,}501 - (2{,}361.10^{-3}).T_{méd} \quad (19)$$

Sendo a $T_{méd}$ expressa em °C.

A Equação 20 representa a estimativa da Evapotranspiração de referência (ETo) horária.

$$ETo = \frac{0{,}408\Delta(Rn - G) + \gamma\frac{37}{T_{hr} + 273}V_2\left(e^{\circ}(T_{hr}) - e_a\right)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34V_2)} \quad (20)$$

Em que:

ETo - evapotranspiração de referência, mm $hora^{-1}$;

Rn - radiação líquida na superfície de referência, MJ m^{-2} $hora^{-1}$;

G - densidade de fluxo de calor no solo, MJ m^{-2} $hora^{-1}$;

T_{hr} - temperatura média do ar a 2 m de altura em cada hora, °C;

V_2 - velocidade do vento a 2 m de altura em cada hora, m s^{-1};

$e^{\circ}(T_{hr})$ - pressão de saturação de vapor, kPa;

e_a - pressão real de vapor, kPa;

$e^{\circ}(T_{hr}) - e_a$ - déficit de saturação do vapor, kPa;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor, kPa $°C^{-1}$;

γ - parâmetro psicrométrico, kPa $°C^{-1}$.

Todo o procedimento de cálculo da estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) horária que apresenta diferença com relação a estimativa diária é apresentado abaixo, de acordo com as seguintes equações:

$$Ra = 18{,}793.dr\left(H.sen(\varphi).sen(\delta) + \cos(\varphi).\cos(\delta).sen(H)\right) \quad (21)$$

Em que,

dr: distância relativa terra-sol (adimensional); H: ângulo horário no pôr-do-sol (rad); φ: latitude local (rad); δ: declinação solar (rad).

A densidade de fluxo de calor no solo, G foi estimada para o período diurno pela Equação 22 e para o período noturno pela Equação 23.

$$G = 0{,}1.Rn \quad (22)$$

$$G = 0{,}5.Rn \quad (23)$$

Em que, G é o fluxo de calor do solo horário (MJ m^{-2} $hora^{-1}$) e Rn é o saldo de radiação em MJ m^{-2} $hora^{-1}$.

3.2 DETERMINAÇÃO DA ETc

3.2.1 Instalação dos lisímetros

Para a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) nos diversos estádios de desenvolvimento, foram utilizados quatro lisímetros (Lis 1, Lis 2, Lis 3 e Lis 4) de pesagem, idênticos tomados 2 a 2 (Lis 1 e Lis 2) com células de carga instaladas no braço de apoio das balanças mecânicas funcionando a uma proporção de 1:100, ou seja para uma variação de peso de 100 kg nos lisímetros 1 e 2 a célula de carga registrava um peso de 1 kg e para os (Lis 3 e Lis 4) com células de carga funcionando a uma proporção de 1:50 com contra-pesos instalados ligado ao braço de apoio das balanças mecânicas, com o objetivo de aumentar a sensibilidade da célula de carga para uma proporção de 1:100. Os lisímetros foram instalados em posições estratégicas para minimizar os efeitos da advecção provocada pela área circundante do experimento. A Figura 4 mostra o processo de instalação dos lisímetros de pesagem em campo.

Foram instalados quatro lisímetros de pesagem com dimensões de (1,5 m x 1,5 m), ou seja, de 2,25 m² de área e 1,0 m de profundidade, constituídos de chapa de aço de 3/16’’, com uma saída para drenagem localizada no fundo e acima da caixa. A caixa interna de aço foi

instalada em cima de uma balança mecânica que apresenta um sistema de alavancas com braço de apoio ligado as células de carga para medida dos pesos. As células de carga utilizadas foram da Alfa Instrumentos modelos SV50-com capacidade nominal de 50 kg, sensibilidade de 2 $\pm$ 0,2 mV/V e temperatura de trabalho útil de (-5 a 60° C) e SV100-com capacidade nominal de 100 kg, sensibilidade de 2 $\pm$ 0,2 mV/V e temperatura de trabalho útil de (-5 a 60° C).

Externamente a esta caixa, foi instalada uma outra caixa constituída do mesmo material da primeira, assentada numa laje de concreto de 15 cm de espessura, ficando espaçada da caixa interna aproximadamente 5,0 cm.

Os lisímetros foram preenchidos com solo da própria área, escavado em camadas de 25 cm de profundidade, totalizando quatro camadas (100 cm) que foram separadas em camadas de (0-25, 25-50, 50-75 e 75-100 cm) que posteriormente foram recolocadas na mesma ordem que foram retiradas, mantendo assim a mesma sequência de horizontes do solo original (Figura 4D). Antes de preencher as caixas com o solo em suas respectivas profundidades, foi colocada uma camada de 7-8 cm de brita n^{o} 1 e acima da brita uma manta de poliéster (Bidin), com a finalidade de auxiliar na drenagem da água e evitar entupimentos do orifício no fundo da caixa. Nesse orifício foi feito um revestimento com um pedaço de tela sendo fixado com a brita. Uma tubulação de 125 mm de diâmetro nominal foi instalada ao lado do orifício para auxiliar na drenagem por cima da caixa por meio do auxílio de uma mini-bomba, caso fosse necessário.

Figura 4: Processo de instalação dos lisímetros de pesagem, (A) instalação das balanças mecânicas; (B) estrutura de alvenaria (C) caixa metálica; (D) preenchimento dos lisímetros; (E e F) disposição dos lisímetros em campo em Mossoró/RN, 2011.

3.2.2 Calibração dos lisímetros

A calibração dos lisímetros foi realizada com o objetivo de estabelecer a conversão da leitura feita pelo datalogger, em milivolts (mV), para massa (kg). Para isto, foi realizada a adição unitária e sucessiva, e posterior subtração, de massas-padrão – (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 kg), sobre a superfície dos lisímetros, efetuando-se simultaneamente as medições com leituras correspondentes no sistema de aquisição de dados. Como a área do lisímetro era de 2,25 m^2 (1,5 x 1,5 m), cada um quilograma colocado correspondeu a 0,44 mm de água. Em seguida os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão linear simples.

3.2.3 Coeficiente de cultura (kc)

A determinação do Kc foi realizada por meio do quociente entre a ET_C e a ET_O, como representado abaixo:

$$Kc = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (24)$$

Levando em consideração que o melhor horário para determinação da ETc diária por meio dos lisímetros foi de 5:00 às 18:00 h, a ETo diária também teve que ser ajustada para o mesmo horário para determinação do Kc.

3.3 DETERMINAÇÃO DO K_C PELA METODOLOGIA DA FAO

Para a determinação dos Kc's das fases fenológicas da cultura foi utilizado a metodologia do Kc dual, apresentada por Allen et al. (2006), conforme equação abaixo:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (25)$$

Em que: K_{cb} é o coeficiente basal da cultura que se refere a transpiração da cultura e K_e é o coeficiente de evaporação do solo.

Os coeficientes de cultura basais recomendados no Boletim 56 da FAO para a cultura do milho verde, são 0,15; 1,10 e 1,00 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 inicio da maturação até a colheita dos frutos (maturação-colheita).

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

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

$$Kcb = Kcb_{(tab)} + \left[0{,}04\left(V_2 - 2\right) - 0{,}004\left(UR_{min} - 45\right)\right]\left(\frac{h}{3}\right)^{0{,}3} \quad (26)$$

Em que,

Kcb - coeficiente basal ajustado;

$Kcb_{(tab)}$ - (se ≥ 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, 1m $s^{-1} \leq V_2 \leq 6$ m s^{-1};

URmin - valor médio da umidade relativa mínima diária do ar durante as fases média ou final do ciclo cultural, para 20% ≤ UR_{min} ≤ 80% e

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

3.3.2. Estimativa do coeficiente de evaporação do solo (K_e)

O coeficiente de evaporação foi definido pela seguinte equação:

$$K_e = K_r\left(K_{cmax} - K_{cb}\right) \leq f_{ew} K_{cmax} \quad (27)$$

em que:

$K_{cmáx}$ - máximo valor de Kc após chuva ou irrigação, adimensional;

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

f_{ew} - fração do solo exposta e molhada, em decimal;

O Kc_{max} 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:

$$K_{cmax} = \max\left(\left\{1{,}1 + \left[0{,}04\left(V_2 - 2\right) - 0{,}004\left(UR_{min} - 45\right)\right]\left(\frac{h}{3}\right)^{0{,}3}\right\}, \left\{K_{cb} + 0{,}05\right\}\right) \quad (28)$$

O coeficiente de redução da evaporação do solo (Kr) 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 estádio, o Kr é igual a 1. No segundo estádio 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. O Kr foi calculado pela seguinte equação:

$$K_r = \frac{AET - D_{e,i-1}}{AET - AFE} \text{ para } D_{e,i-1} > AFE \quad (29)$$

em que:

K_r - é o coeficiente de redução da evaporação do solo, adimensional (Kr =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 30) é a lâmina acumulada máxima de evaporação na superfície do solo quando $K_r = 0$ em mm.

$$AET = \left(\theta_{CC} - \frac{\theta_{PMP}}{2} \right).Z_e \quad (30)$$

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).

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - (P_i - RO_i) - \frac{I_i}{f_w} + \frac{K_e ET_o}{f_{ew}} + T_{ew,i} + DP_{e,i} \quad (31)$$

Onde:

$D_{e,i-1}$ - 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 i, em mm;

P_i - precipitação no dia i, em mm;

RO_i - escoamento da água precipitada na superfície do solo no dia i, em mm;

I_i – lâmina de irrigação que se infiltra no solo no dia i, em mm;

E_i – evaporação no dia i, em mm – ($E_i = Ke.ETo$);

$T_{ew,i}$ - lâmina de transpiração que ocorre na fração exposta e umedecida na superfície do solo no dia i, em mm;

$DP_{e,i}$ – perdas por percolação profunda que ocorre a partir da superfície do solo no dia i, quando o conteúdo de umidade do solo excede a capacidade de campo, em mm;

f_w – fração da superfície do solo umedecida através da irrigação [0,01 – 1];

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

O termo Tew,i foi considerado zero e como durante o experimento não ocorreu escoamento (RO_i) este termo também foi desprezado.

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

$$f_{ew} = \min[(1-f_c),(1-0{,}67f_c).f_w] \quad (32)$$

Devido os emissores estarem cobertos pela vegetação, haverá uma menor quantidade de energia disponível para evaporação, sendo que o valor de f_w é reduzido quando multiplicado por (1-0,67f_c).fw.

em que:

f_c - é o fator de cobertura do solo e f_w é a fração da superfície do solo umedecida por irrigação ou chuva que foram obtidos por medições em campo, no entanto, f_w = 0,3 para irrigação por gotejamento. Foram realizadas medidas de 5 repetições por lisímetro do fw, além de 5 repetições por parcela de plantio tomadas aleatoriamente, já o fc foi medido em todas as plantas dos lisímetros, totalizando 48 plantas (12 por lisímetro), além de 10 plantas tomadas aleatoriamente em 10 parcelas de plantio.

O fator de cobertura expresso em porcentagem, foi obtido pela razão entre a área de solo efetivamente coberta pelas plantas e a área ocupada pelo espaçamento da cultura. Como a cultura foi plantada em fileiras duplas, formando assim faixas, foi considerada a área coberta por essas faixas em relação à área total (EQUAÇÃO 33).

$$FC = \frac{F_X}{E}.100 \quad (33)$$

Em que:

FC-é o fator de cobertura (%)

Fx-é a largura da área coberta pela faixa de cultivo ou fileira dupla (m); e

E-é o espaçamento entre as faixas de cultivo (m).

3.4 PREPARO, CONTROLE E MANEJO DAS IRRIGAÇÕES

Por meio do método do balanço hídrico avaliou-se em determinado período de tempo, os vários processos de fluxo de água no solo dos lisímetros pela contabilização da precipitação pluviométrica, da irrigação, da drenagem, da variação de massa nos lisímetros, e da evapotranspiração da cultura, conforme a Equação 34.

$$ETc = P + I - DP - \Delta massa \quad (34)$$

Onde:

P = precipitação pluvial (mm)

I = lâmina de água aplicada (mm)

ETc = evapotranspiração da cultura (mm)

DP = drenagem profunda (mm)

$\Delta massa = ((L_{m18:00}-L_{m5:00}).f)/A$ (mm)

Em que,

$L_{m18:00}$ – Leitura média das células de carga no dia i, em mV às 18:00 horas

$L_{m5:00}$ – Leitura média das células de carga no dia i, em mV às 5:00 horas

f – Coeficiente de regressão para cada equação de regressão linear utilizada para calibração dos lisímetros

A – Área dos lisímetros – 2,25 m²

3.5 INSTALAÇÃO E CALIBRAÇÃO DAS SONDAS TDR

Foram instaladas oito sondas TDR, sendo seis da Campbell Scientific e duas que foram confeccionadas artesanalmente, quatro na profundidade de 0-30 cm e quatro de 15-45 cm, com as sondas 1, 2, 3 e 4 da Campbell instaladas nos lisímetros 3 e 4 (duas em cada lisímetro). Já as sondas 5 e 6 da Campbell e a Art 7 e Art 8 foram instaladas nas faixas de plantio. Antes da instalação as sondas foram calibradas, sendo que para sua calibração as sondas foram utilizadas para realizar leituras da variação da constante dielétrica na água em três temperaturas diferentes (22,5, 31 e 42 ° C).

3.6 COLETA DOS DADOS METEOROLÓGICOS, DAS CÉLULAS DE CARGA E DA UMIDADE DO SOLO

Os dados meteorológicos, da umidade do solo e das células de carga foram coletados por uma estação meteorológica instalada na área, constituída por um datalogger (CR23X da Campbell Scientific), para aquisição dos dados medidos pelos sensores de radiação global, radiação líquida, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, velocidade e direção do vento, das células de carga e das sondas TDR na área de cultivo.

As leituras dos dados meteorológicos foram realizadas com um intervalo de execução de 5 segundos e os dados de saída a cada 10 minutos. As leituras das células de carga foram programadas para serem realizadas a cada 10 segundos e os dados de saída a cada 10 minutos. já as leituras das sondas TDR foram realizadas a cada 120 s (tempo suficiente para ser feito a varredura do teor de umidade do solo por meio das oitos sondas instaladas na área) e os dados de saída a cada 10 minutos.

3.7 ANÁLISE DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA

Foram realizadas coletas de dados de plantas como altura, número de folhas e largura da copa semanalmente nos lisímetros além de 10 parcelas na área de plantio, selecionadas aleatoriamente na área experimental, sendo que em cada parcela foram avaliadas 10 plantas ao longo de uma distância de 2 m de duas fileiras simples.

Para determinação da área foliar, índice de área foliar, matéria seca da raiz, caule, folhas, espiga empalhada e despalhada, comprimento da espiga empalhada e despalhada e diâmetro da espiga empalhada e despalhada foram selecionadas uma planta de cada parcela tomada aleatoriamente em 10 parcelas na área e plantio.

A área foliar de cada planta foi determinada com a utilização de um integrador de área, marca LI-COR, modelo LI-3100. O material foi colocado em estufa a 70 °C por 48 horas, para determinação da matéria seca, com a utilização de uma balança de precisão. Para determinação da umidade dos grãos, as amostras dos lisímetros e da área de plantio foram submetidas à pesagem antes e após serem colocadas em estufa a 105 °C por 48 horas.

Cada parcela destinada as medidas de plantas apresentava uma área de 3,0 m^2. As eficiências do uso de águas (EUA) médias, Equação 35, em relação à matéria seca e a

Equação 36, em kg de grãos por m³ de água aplicada foram determinadas com base na evapotranspiração da cultura medida diretamente nos lisímetros, assim como pela obtida pela metodologia da FAO–56.

Os graus-dias acumulados (GDA) em cada fase de desenvolvimento da cultura foram determinados de acordo com a Equação 37.

3.8 ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE

A caracterização da produtividade do milho verde e seco foi realizada na área de plantio e nos lisímetros. Nos lisímetros foi realizada somente a avaliação para milho seco, totalizando em média 12 espigas para cada lisímetro. Na área de plantio foram selecionadas 10 parcelas aleatoriamente de 5 m de comprimento para avaliação do milho verde e seco. Para o milho verde foram avaliados o peso, comprimento e diâmetro da espiga empalhada e despalhada, o número de espigas com danos causados por pragas ou doenças, além da produtividade das espigas comercializáveis empalhadas e despalhadas. Foram consideradas como espigas empalhadas comercializáveis aquelas livres de danos causados por pragas ou doenças e com comprimento igual ou superior a 22 cm e, como espigas despalhadas comercializáveis, aquelas com boa sanidade e granação e que apresentavam comprimento igual ou superior a 17 cm (SILVA et al., 2006).

Para o milho seco foram avaliados o peso da espiga empalhada e despalhada, peso total dos grãos, peso de 100 grãos e a umidade dos grãos, bem como a produção dos grãos corrigida para uma umidade de 15%. As Equações 38 e 39 representam o teor de umidade dos grãos e a produção de grãos corrigida para a umidade de 15%, (grãos duros-época em que os grãos atingiram a maturidade fisiológica, ou seja, eles estão totalmente formados). Durante a colheita do milho verde e seco foi contabilizado o número médio de espigas/planta e o número de plantas por parcela.

Cada parcela destinada a caracterização da produtividade foi de 7,5 m^2, o peso das espigas empalhadas e despalhadas foi contabilizado levando em consideração o total de espigas colhidas na área de plantio, sendo que essa variável juntamente com as demais foram obtidas com a análise de uma amostra de 100 espigas (10 espigas em cada parcela) escolhidas aleatoriamente do total de espigas colhidas na área de plantio.

O comprimento e o diâmetro das espigas foram determinados por meio de uma régua graduada e um paquímetro, respectivamente.

$$\text{EUA (kg m}^{-3}) = \frac{\text{MS}}{\text{ETc}} \text{x100} \quad (35)$$

Em que,

MS – matéria seca em t ha^{-1}

ETc – Evapotranspiração da cultura, em mm

$$\text{EUA (kg m}^{-3}\text{ ha}^{-1}) = \frac{\text{PROD}}{\text{V}} \quad (36)$$

Em que,

PROD – produtividade da cultura (kg ha^{-1});

V – volume de água disponibilizado à cultura, em m^3

$$\text{GDA} = \sum_{i=1}^{n} (\text{tm} - \text{tb}) \quad (37)$$

Onde tm é a temperatura média do ar (°C) e tb é a temperatura base da cultura = 10 °C (LOZADA; ANGELOCCI, 1999).

$$\text{TU (\%)=teor de umidade (\%)} = \left(\frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PF}} \right) \times 100 \quad (38)$$

PF=peso fresco do grão (g)

PS=peso seco do grão (g)

$$\text{PGC} = \frac{100 - \text{TU}(\%)}{85} \times \text{PGNC} \quad (39)$$

Em que,

PGC=produção de grãos corrigida a 15%

PGNC=produção de grãos não corrigida

3.9 COMPARAÇÃO ENTRE A ET_C MEDIDA E A ESTIMADA PELA METODOLOGIA DA FAO 56

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 foi obtido por meio do coeficiente de correlação"r", Equação 40, a exatidão foi avaliada pelo índice "d" de Willmott et al. (1985), que expressa a exatidão das estimativas em relação aos valores observados, variando de 0 (zero) que indica a falta de concordância e 1(um) que indica perfeita concordância (exatidão), Equação 41, e o desempenho pelo indicador "c", Equação 42, onde seus valores são classificados conforme a Tabela 2. A verificação dos erros proporcionados pelas estimativas foi realizada pelo cálculo do erro padrão da estimativa (EPE), Equação 43, conforme Jensen et al. (1990).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - O).(P_i - P)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - O)^2}.\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - P)^2}} \quad (40)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (41)$$

$$c = r.d \quad (42)$$

Sendo: *P*i os valores estimados; P a média dos valores estimados; *O*i os valores observados e O a média dos valores observados.

$$EPE = \sqrt{\left[\frac{\sum(Y - Ym)^2}{n-1} \right]} \quad (43)$$

Em que Y é a evapotranspiração estimada (mm dia^{-1}); Y_m é a evapotranspiração medida (mm dia^{-1}); e n o número total de observações.

Tabela 2: 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
≤ 0,40	Péssimo

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise das variáveis avaliadas foi feita por meio da estatística descritiva, além disso, conforme a Equação 44 foi determinado o intervalo de confiança para média com 95% de probabilidade dos kc's para cada estádio fonológico da cultura determinado pelos lisímetros e pela metodologia da FAO-56. Todas as análises foram realizadas pelo programa R Version 2.12.1 (2010), além disso, para cada regressão linear simples da radiação global, dos coeficientes de cultura e da evapotranspiração da cultura, foram verificadas as seguintes hipóteses Ho: Não há regressão linear simples ($\beta = 0$) e H_1: Há regressão linear simples ($\beta \neq 0$) entre as variáveis estudadas por meio do teste estatístico t de Student de acordo com a Equação 45 ao nível de significância de 1% de probabilidade.

$$P\left(\bar{X} - t_{\left(v;\frac{\alpha}{2}\right)} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{\left(v;\frac{\alpha}{2}\right)} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha \qquad (44)$$

Em que: v=n -1 graus de liberdade, $t_{\left(v;\frac{\alpha}{2}\right)}$ é o valor crítico ou tabelado sob a curva da distribuição t de Student, sendo n o tamanho da amostra e α=5% o nível de significância. $\bar{X}$ e S são, respectivamente a média e o desvio padrão para uma amostra aleatória de uma população com distribuição normal e variância desconhecida. Para verificar a normalidade dos dados amostrais

referentes a cada estádio fenológico da cultura foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de significância.

$$t_{(teste)} = \frac{\hat{b} - \beta}{S_{(\hat{b})}} \quad (45)$$

Em que: $\hat{b}$ (coeficiente de regressão ou angular) é o estimador do parâmetro β da equação de regressão linear e $S_{(\hat{b})}$ é o desvio padrão de $\hat{b}$. $S_{(\hat{b})}$ é estimado pela Equação 46.

$$S_{(\hat{b})} = \frac{S_{Regressão}}{\sqrt{SQX}} \quad (46)$$

Em que: $S_{Regressão}$ é o desvio padrão da regressão expresso pela Equação 47, SQX é a soma de quadrados da variável independente (X) conforme a Equação 48.

$$S_{Regressão} = \sqrt{S_{Regressão}^{\ 2}} = \sqrt{\frac{SQ_{Regressão}}{V}} \quad (47)$$

Em que: V=n-2 graus de liberdade e $SQ_{Regressão}$ é a soma de quadrados da regressão sendo estimado pela Equação 49.

$$SQX = \sum_{i=1}^{n} X^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} X\right)^2}{n} \quad (48)$$

Onde n é o tamanho da amostra.

$$SQ_{Regressão} = SQY - \frac{SPXY^2}{SQX} \quad (49)$$

Em que: SQY é soma de quadrados da variável dependente (Y) sendo estimado pela Equação 50 e SPXY é a soma do produto das variáveis X e Y conforme a Equação 51.

$$SQY = \sum_{i=1}^{n} Y^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} Y\right)^2}{n} \quad (50)$$

$$SPXY = \sum_{i=1}^{n} XY - \frac{\sum_{i=1}^{n} X \sum_{i=1}^{n} Y}{n} \quad (51)$$

3.11 ANÁLISE ECONÔMICA

Foram avaliados os custos de produção e as medidas de resultado econômico referentes à produção do milho verde e milho seco, conforme metodologias de custo e rentabilidade (LEITE, 1998; VALE; MACIEL, 1998; REIS, 2002; DELEO, 2007).

Segundo estes autores, custos de produção correspondem aos gastos totais (custo total), os quais abrangem os serviços prestados pelo capital estável, a contribuição do capital circulante e o valor dos custos alternativos.

3.12 CUSTOS DE PRODUÇÃO E MEDIDAS DE RESULTADO ECONÔMICO

Como os custos totais para as diversas práticas de colheita analisadas para produção de milho verde e milho seco só diferem em relação aos gastos com irrigação e colheita, então optou-se por usar o custo adicional, ou seja, o valor, positivo ou negativo, do custo total do sistema de colheita do milho seco que representa o excesso ou déficit em relação ao custo total do sistema de referência, no caso, o milho verde. Da mesma forma, foi utilizado, na apresentação dos resultados, o conceito de receita adicional (excesso ou déficit de receita de cada sistema de colheita, em relação ao sistema de referência). A partir destes dois conceitos, obteve-se o lucro adicional (receita líquida adicional de cada sistema, em relação ao sistema de referência).

As medidas de resultado econômico empregadas na análise foram: receita total, receita adicional e lucro adicional (diferença entre receita adicional e o custo adicional de cada sistema). Este último indicador corresponde à parcela ou fração de lucro que deve ser somada ao lucro total de cada sistema correspondente.

3.13 PREÇOS

Os preços do milho verde e dos insumos, em relação aos custos de produção foram obtidos no mercado local, sendo que o preço da espiga de milho verde varia de R$ 0,13 a 0,18 a unidade com um preço médio de R$ 0,16. Já o milho seco o valor adotado por quilo foi de R$ 0,75.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS CLIMÁTICOS

Na Figura 5 pode ser observada a variação da temperatura média, máxima e mínima durante o período de condução do experimento. Pode-se verificar que a temperatura média diária variou entre 23,32 a 28,69 com média absoluta de 27,46 °C, se aproximando da faixa média de temperatura para o cultivo do milho que está na faixa de 24 a 32 °C.

A amplitude da temperatura máxima foi de 25,63 a 36,01 com média de 33,56 °C. Já para a temperatura mínima a amplitude foi de 20,02 a 25,84 com média de 22,44 °C. As temperaturas máximas e mínimas absolutas foram atingidas aos 35 e 55 dias DAP, respectivamente.

Na Figura 6, verifica-se a variação da umidade relativa do ar média, máxima e mínima. A umidade relativa média do ar apresentou uma amplitude de 51,31 a 74,43 com média de 61,90%. Para a umidade relativa máxima a amplitude foi de 67,62 a 89,19 com média de 81,73%, já a umidade relativa mínima apresentou uma variação de 23,66 a 63,87 com média de 35,98%.

A Figura 7 representa a variação da velocidade do vento a 2 metros de altura média, máxima e mínima. A velocidade média diária do vento variou em torno de 1,11 m s^{-1} a 3,48 m s^{-1}, sendo que a velocidade média ficou em torno de 2,56 m s^{-1}, a máxima variou de 3,24 a 7,34 com média de 5,66 m s^{-1} e a mínima variou de 0,04 a 1,01 com média de 0,56 m s^{-1}.

A Figura 8 representa a variação da radiação global média, máxima e mínima e da radiação líquida estimada e medida média, máxima e mínima. A radiação global diária apresentou uma variação de 13,98 a 34,46 MJ m^{-2} dia^{-1}, com uma média de 23,82 MJ m^{-2} dia^{-1}. A radiação líquida estimada apresentou uma variação de 3,52 a 18,54 MJ m^{-2} dia^{-1}, com uma média

de 13,33 MJ m^{-2} dia^{-1}, já a radiação líquida medida apresentou uma variação em torno de 4,14 a 18,75 MJ m^{-2} dia^{-1}, apresentando em média 12,34 MJ m^{-2} dia^{-1}.

Num experimento com melão gália híbrido Néctar irrigado na mesma área experimental no mês de outubro do ano de 2008, verificou-se que a temperatura média, máxima e mínima foram 27,2; 37,4 e 19,3 ° C, a umidade relativa do ar variou entre 46,3 e 70,3%, a velocidade média diária do vento variou entre 1,93 e 3,6 m s^{-1}, a máxima foi 8,0 m s^{-1} e a mínima variou entre 0,2 a 0,34 m s^{-1}. A radiação global diária variou entre 17,2 e 25,1 MJ m^{-2} dia^{-1}, já a radiação líquida estimada variou entre 11,0 e 14,2 MJ m^{-2} dia^{-1} e a medida variou entre 8,0 e 13,1 MJ m^{-2} dia^{-1} (MELO, 2009).

De acordo com esses resultados, as variáveis climáticas que apresentam resultados aproximadamente semelhantes em relação aos resultados apresentados por esse estudo, são a temperatura média, máxima e mínima e a velocidade do vento média e máxima. A radiação global média, o saldo de radiação estimado e o medido apresentaram uma variação menor em relação aos apresentados por esse experimento.

Essas variações podem ser explicadas devido à diferença entre os períodos de cultivo evidenciando que as condições climáticas apresentaram-se diferentes.

De acordo com uma série histórica de dados climáticos para Mossoró/RN ao longo de 38 anos (1970-2007) dos registros da estação meteorológica Jerônimo Rosado da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em Mossoró/RN cujas coordenadas geográficas são: $5^{o}11'$ S e $37^{o}20'$ W com altitude de 40,5 m acima do nível do mar para o período em que a cultura do milho verde foi cultivada (novembro a janeiro) a temperatura média do ar apresentou um variação de 24,00 a 33,10, com média de 28,44 °C. A temperatura máxima apresentou uma variação de 24,20 a 37,80, com média de 34,45 °C, já a temperatura mínima variou de 17,90 a 27,50, com média de 23,68 °C. A variação da umidade relativa média foi de 46,00 a 75,00, com média de 66,00%. A velocidade do vento a 2m de altura variou de 1,00 a 3,20, com média de 2,25 m s^{-1}.

Para o período anual, a temperatura média apresentou um variação de 20,4 a 33,1, com média de 27,69 °C. A temperatura máxima apresentou uma variação de 23,00 a 37,40, com média de 33,66 °C, já a temperatura mínima variou de 18,20 a 28,20, com média de 22,90 °C. A variação da umidade relativa média foi de 49,00 a 79,00, com média de 68,93%. A velocidade do vento variou de 1,13 a 3,30, com média de 2,88 m s^{-1}.

De acordo com esses resultados pode-se verificar que os valores médios das variáveis meteorológicas da série histórica durante o período de cultivo do milho verde e durante os anos

da série histórica foram os que mais se aproximaram dos dados médios observados durante o período de cultivo, apresentando maior variação entre as amplitudes de cada variável.

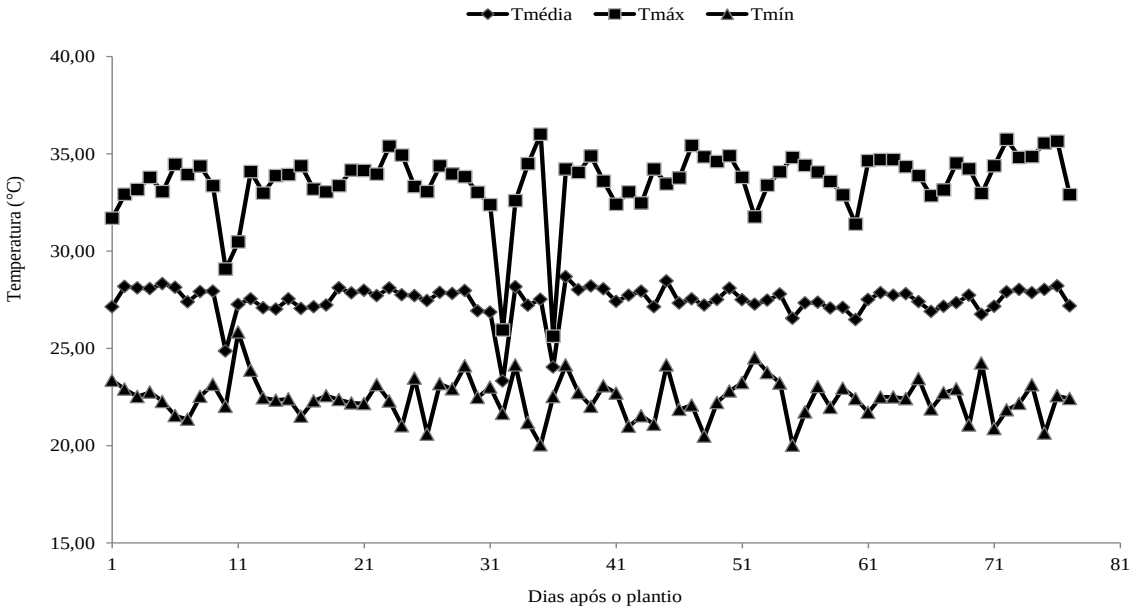


Figura 5: Temperatura média, máxima e mínima diária registradas entre 01/11/2011 e 16/01/2012, para a área cultivada com o milho, em Mossoró/RN, 2011-2012.

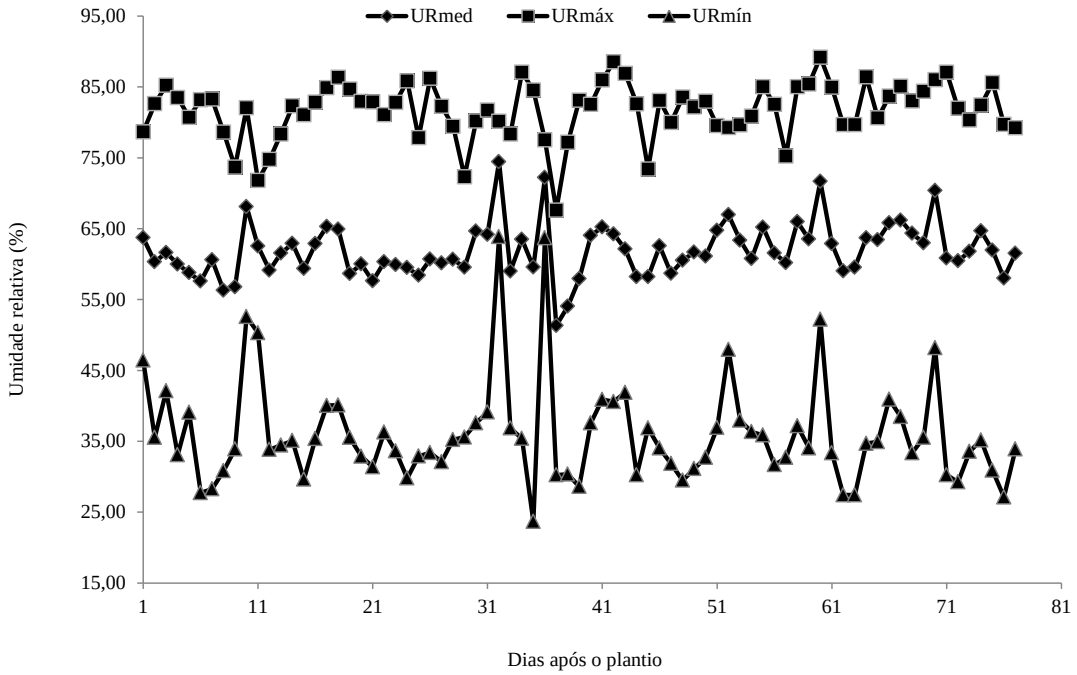


Figura 6: Umidade relativa média, máxima e mínima diária registradas entre 01/11/2011 e 16/01/2012, na área cultivada com o milho, em Mossoró/RN, 2011-2012.

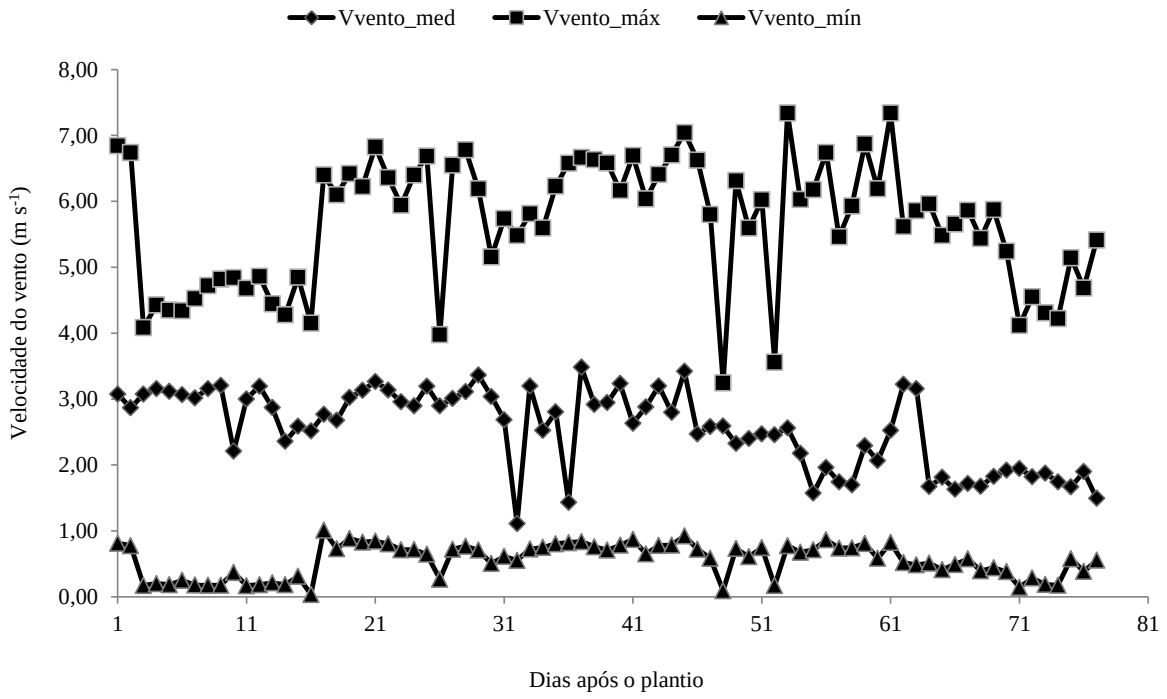


Figura 7: Velocidade do vento a 2 metros de altura média, máxima e mínima diária registradas entre 01/11/2011 e 16/01/2012, na área cultivada com o milho, em Mossoró/RN, 2011-2012.

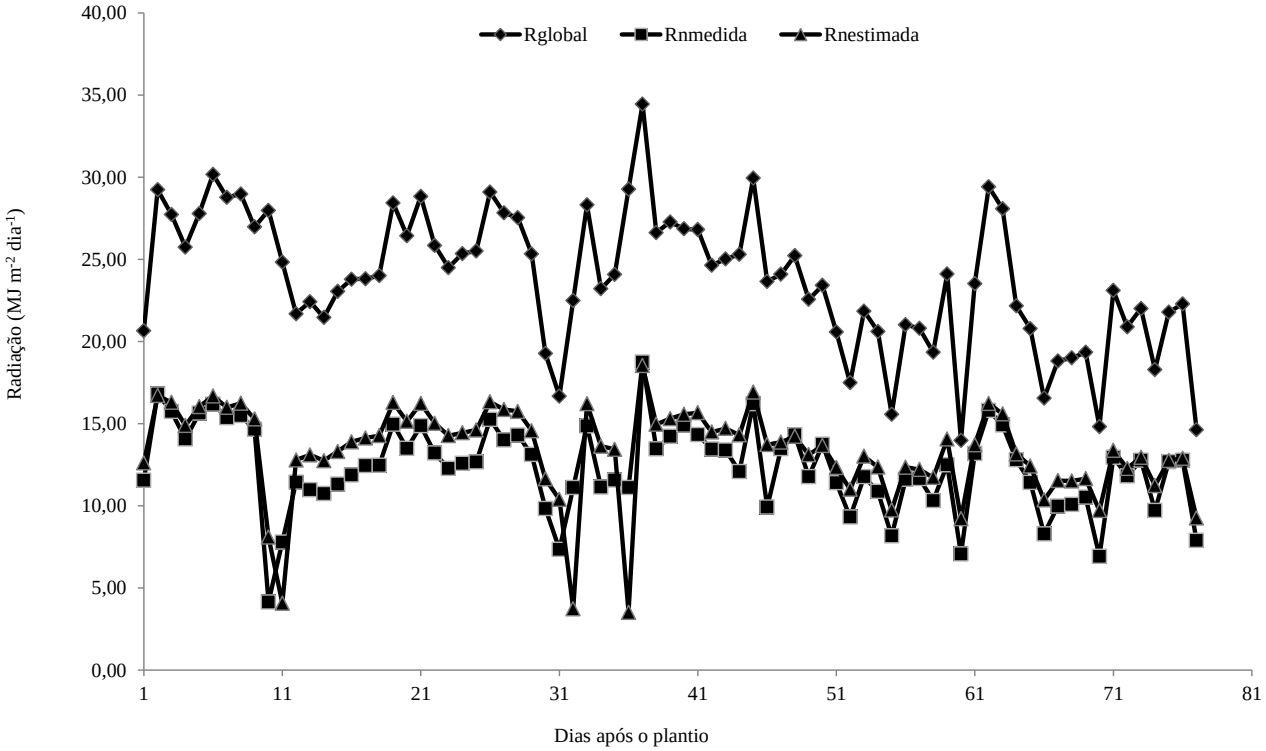


Figura 8: Radiação global, radiação líquida medida e estimada diária registradas entre 01/11/2011 e 16/01/2012, na área cultivada com o milho, em Mossoró/RN, 2011-2012.

Os pontos extremos observados nas Figuras 6, 7, 8 e 9 estão relacionados com a ocorrência de dias nublados.

Na figura 9, pode-se verificar a relação entre a radiação líquida medida e estimada por meio de uma regressão linear simples que apresentou um coeficiente de determinação (R^2=0,8610), o que indica que 86,10% das variações da radiação líquida medida são explicadas estatisticamente pelas variações da radiação líquida estimada, sendo que 13,90% dessas variações são atribuídas a causas ou fatores aleatórios ou casuais.

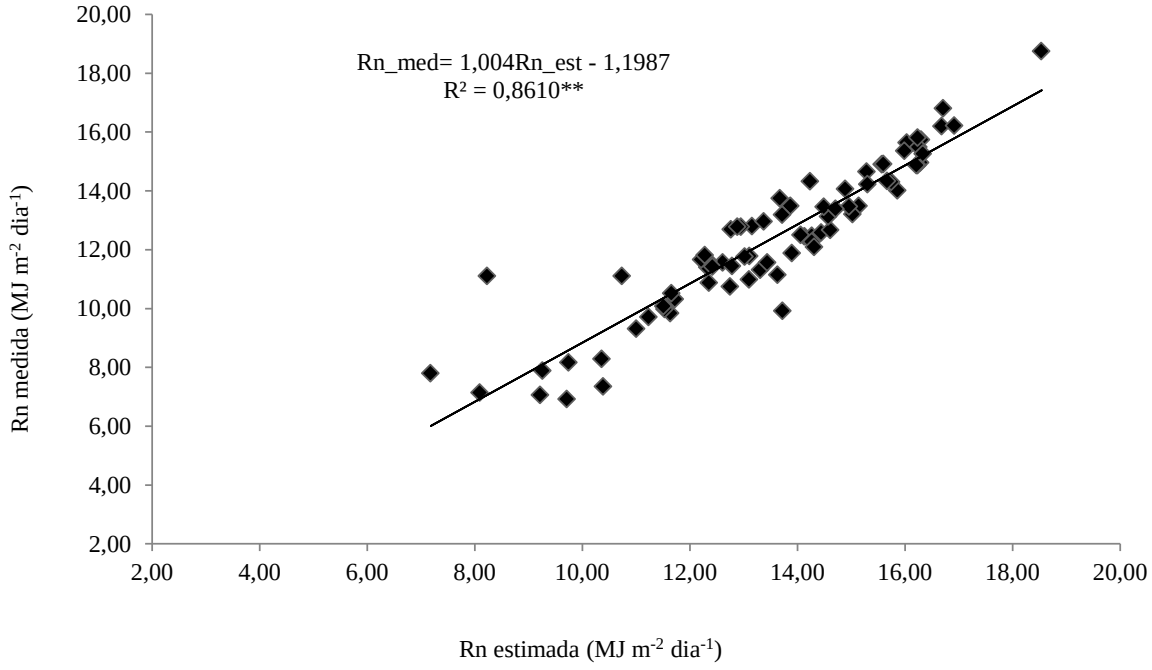


Figura 9: Relação entre a radiação líquida medida e estimada entre 01/11/2011 e 16/01/2012, em Mossoró/RN, 2011-2012.
** - Indica que há regressão linear ao nível de 1% de significância.

O coeficiente de determinação (R^2=0,8610) obtido por meio da relação entre Rn medida e estimada apresentou-se próximo ao obtido por Santiago (2001) que ao comparar os valores medidos e estimados de Rn com o sensor para medir a radiação líquida instalado a 1 m acima do solo em dois períodos março a junho e junho a agosto com a cultura da grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) em Piracicaba/SP obteve as seguintes equações com os seus respectivos R^2: Rn_med = 0,8795Rn_est + 1,3987, R^2 = 0,8599 e Rn_med = 0,7707Rn_est + 2,6831, R^2 = 0,8478.

Na Figura 10, apresenta-se o total precipitado durante o ciclo do milho verde 77 dias– 3,65 mm. O total precipitado para o ciclo do milho seco (116 dias) foi de 127,85 mm.

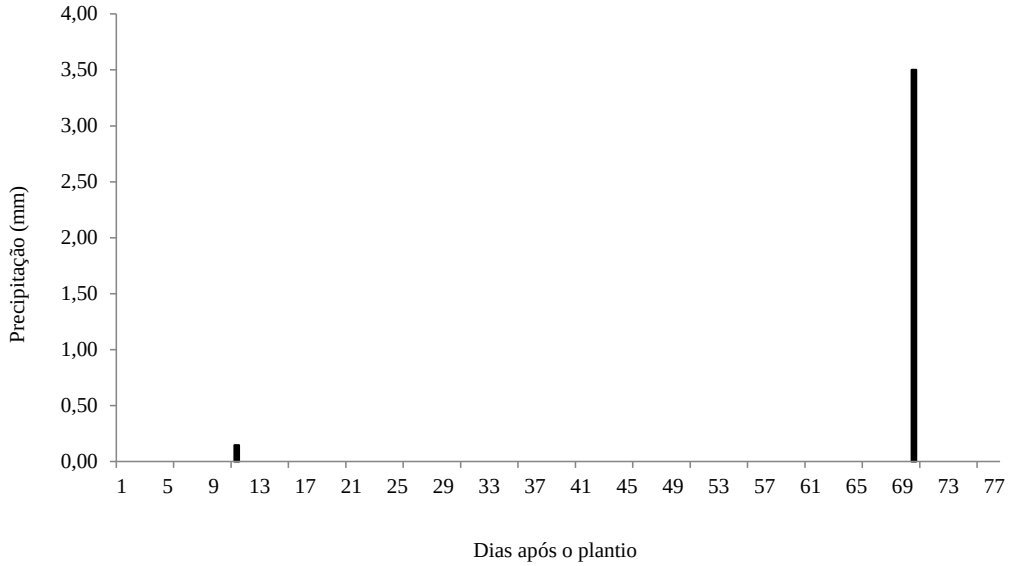


Figura 10: Total da precipitação ao longo do ciclo do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012.

4.2 CALIBRAÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS LISÍMETROS

Foram adicionados pesos conhecidos, e efetuadas as leituras correspondentes em mV no sistema de aquisição de dados, de forma a gerar a aferição dos mesmos através de uma regressão linear simples. As equações de regressão obtidas para cada lisímetro com os seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) são apresentadas na Figura 11 em que y é a massa (kg) e x é a leitura (mV). Como a resolução das leituras era de 0,0001 mV/V no datalogger, o lisímetro 1 trabalhou fazendo leituras a cada 0,28452 kg de peso adicionado ou retirado, o lisímetro 2 a cada 0,27792 kg, o lisímetro 3 a cada 0,082357 kg e o lisímetro 4 a cada 0,078246 kg, o que implica dizer que os lisímetros têm resoluções de 0,12645, 0,12352, 0,03660 e 0,03478 mm, respectivamente, considerando que suas áreas são de 2,25 m^2, verificando-se, dessa forma, o efeito dos contra-pesos utilizados nos lisímetros 3 e 4, conferindo-lhes uma maior sensibilidade. 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.

O erro padrão de estimativa da regressão linear para os lisímetros 1, 2, 3 e 4 foram de 1,50, 1,42, 0,10 e 0,04 kg o que equivale a uma lâmina de água de 0,67, 0,63, 0,04 e 0,02 mm, respectivamente.

Miranda et al. (1999) calibrando um lisímetro de pesagem com uma área de 2,20 m^2, apoiado sobre balanças eletrônicas de precisão, encontrou um erro-padrão da estimativa equivalente a 0,60 mm de lâmina de água, sendo esse valor próximo ao maior erro obtido entre os quatro lisímetros analisados neste experimento.

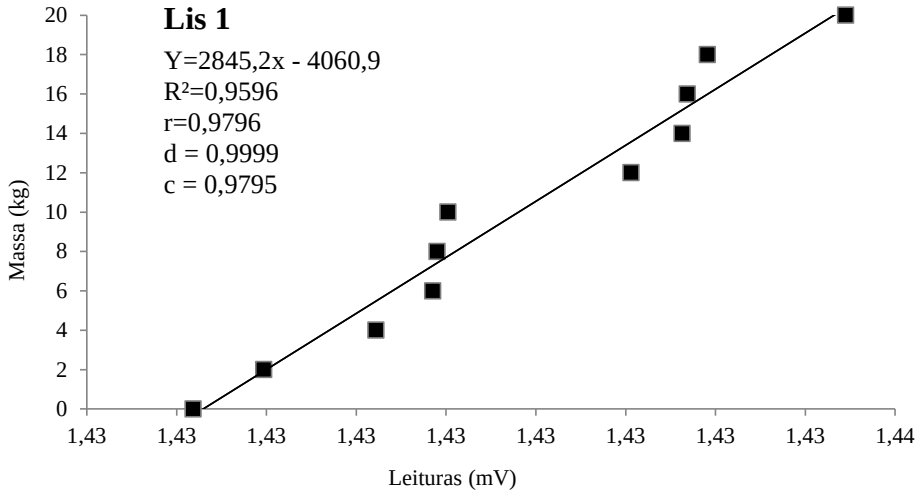
Segundo Santiago (2001), a célula de carga possui um strain gauge interno, ou seja, um transdutor encapsulado por material resistente à corrosão, que varia sua resistência devido o transporte de uma corrente elétrica em função da deformação longitudinal causada pela variação da massa sustentada. A célula de carga funciona com uma ponte de Wheatstone que mede a diferença de potencial, em mV induzida pela variação da resistência da célula de carga. Portanto, medindo-se a variação na diferença de potencial do circuito elétrico pode-se avaliar a variação da massa causadora da deformação.

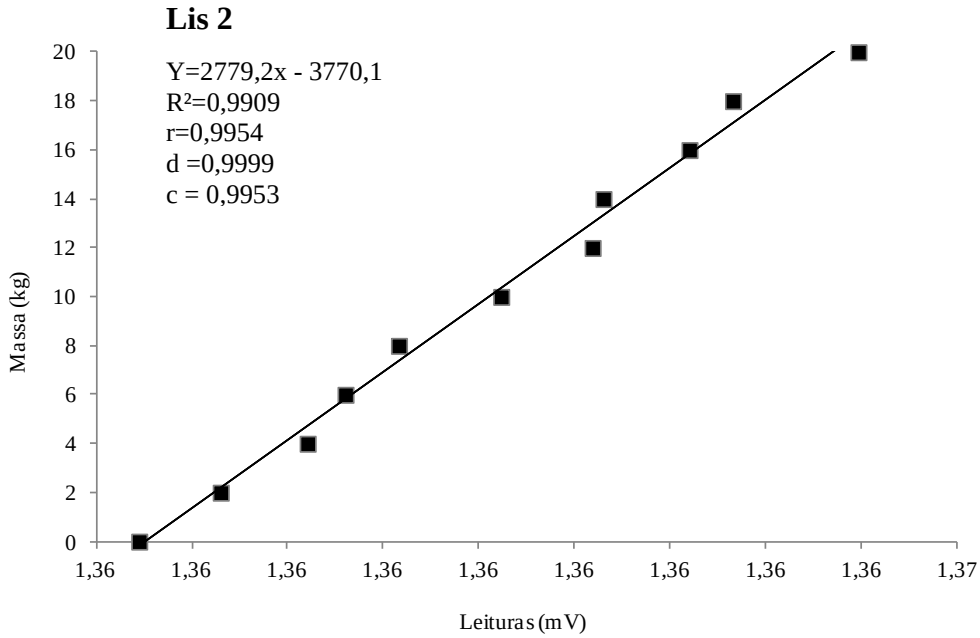
Os sistemas de pesagem utilizando células de carga têm sido adaptados para medidas lisimétricas de campo e inúmeros são os relatos dos resultados obtidos. No entanto, a maior sensibilidade dos sensores não implica necessariamente em melhor qualidade dos resultados, e este aspecto não tem sido abordado na análise dos resultados publicados. Frequentemente, os dias com ocorrência de chuvas são descartados das análises, mas um sistema tão sensível deve permitir medidas mesmo nesses dias, pois a chuva efetiva captada pelo lisímetro fica registrada pela coleta contínua de sua variação de massa, podendo ser dispensado o uso de pluviômetros para medida de chuva.

Segundo Bergamaschi et al. (1997), um outro problema que também 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.

A Figura 12 apresenta o funcionamento médio dos lisímetros em condições de perda de massa (ET_C) de 01 a 03/11/2011, já a Figura 13 representa as condições de ganho de massa (chuva e irrigação) de 09 a 11/01/2012 e a Figura 14 apresenta o funcionamento médio dos

lisímetros em condições de perda (ET_C) e ganho de massa (chuva e irrigação) ao longo do ciclo da cultura.





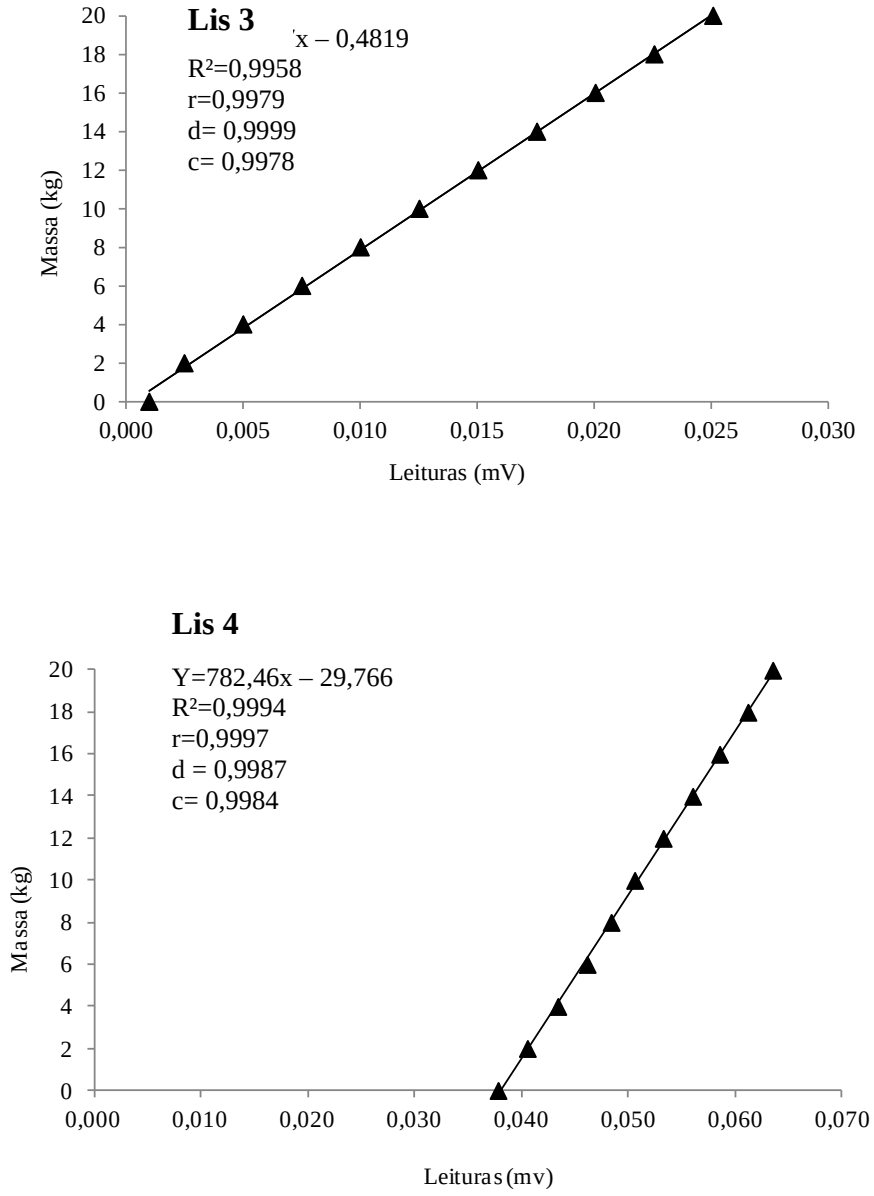


Figura 11: Calibração dos lisímetros 1, 2, 3 e 4: leituras das células de carga de acordo com a adição e subtração de pesos–padrão, em Mossoró/RN, 2011.

Devido à importância das medidas lisimétricas para determinar a demanda hídrica das culturas, faz-se necessário a utilização de indicadores estatísticos. Os indicadores estatísticos r, d e c para cada lisímetro são apresentados na Figura 11. 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).

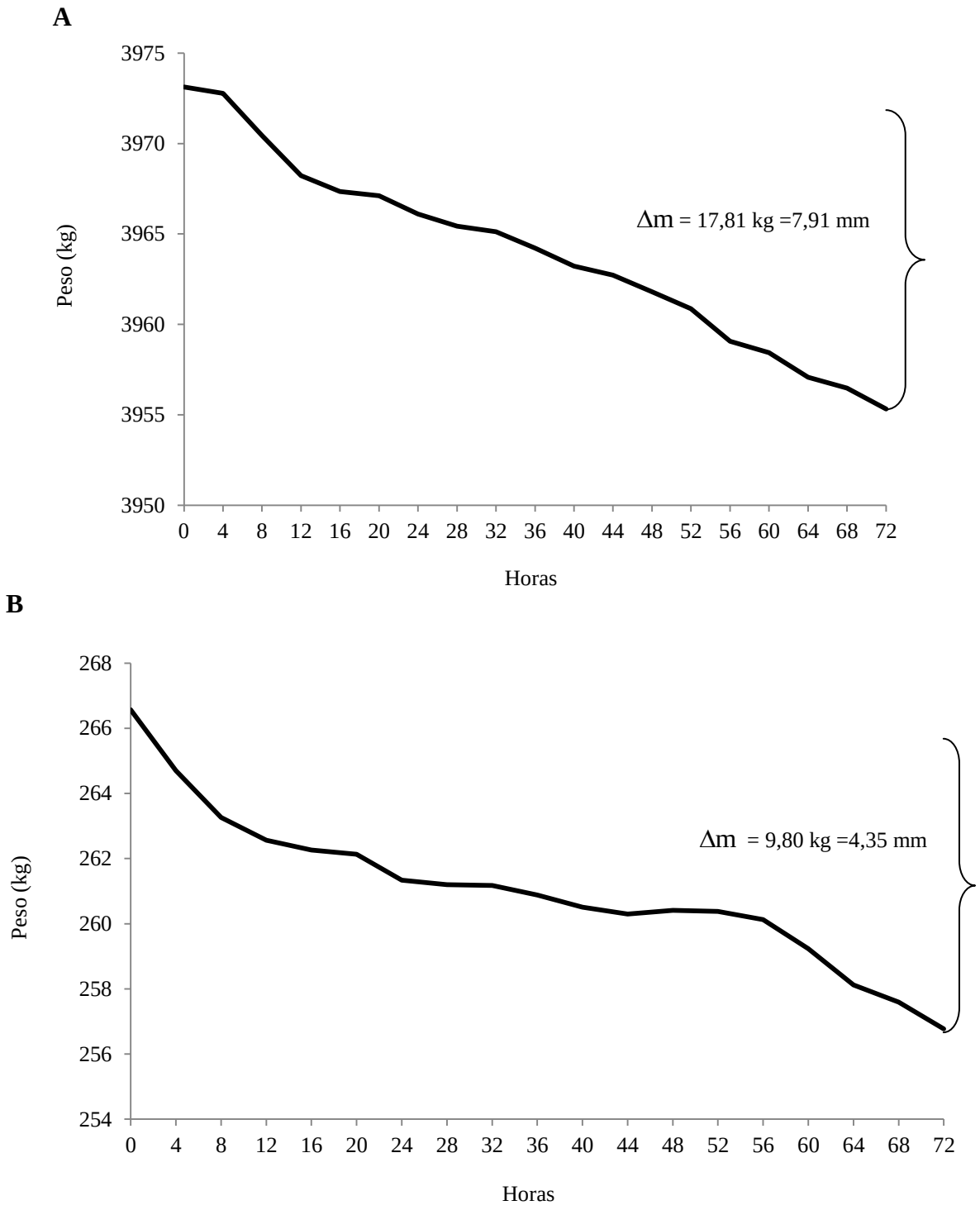
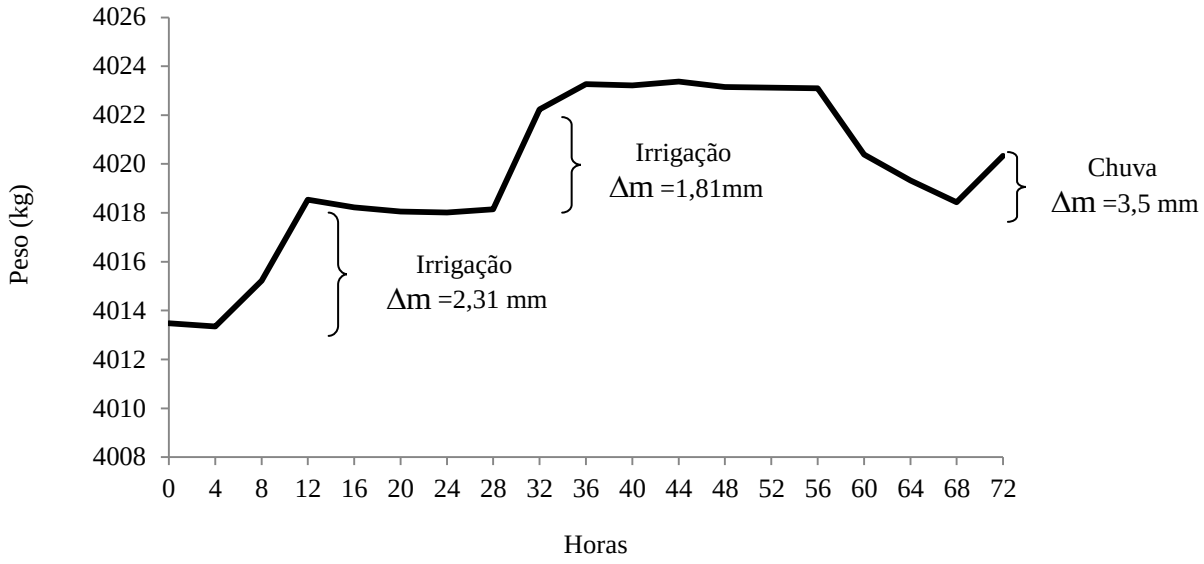


Figura 12: Variação de massa média dos lisímetros 1 e 2 (A) e 3 e 4 (B) em resposta a ETc do milho verde entre os dias 01 e 03/11/2011, em Mossoró/RN, 2011.

C



D

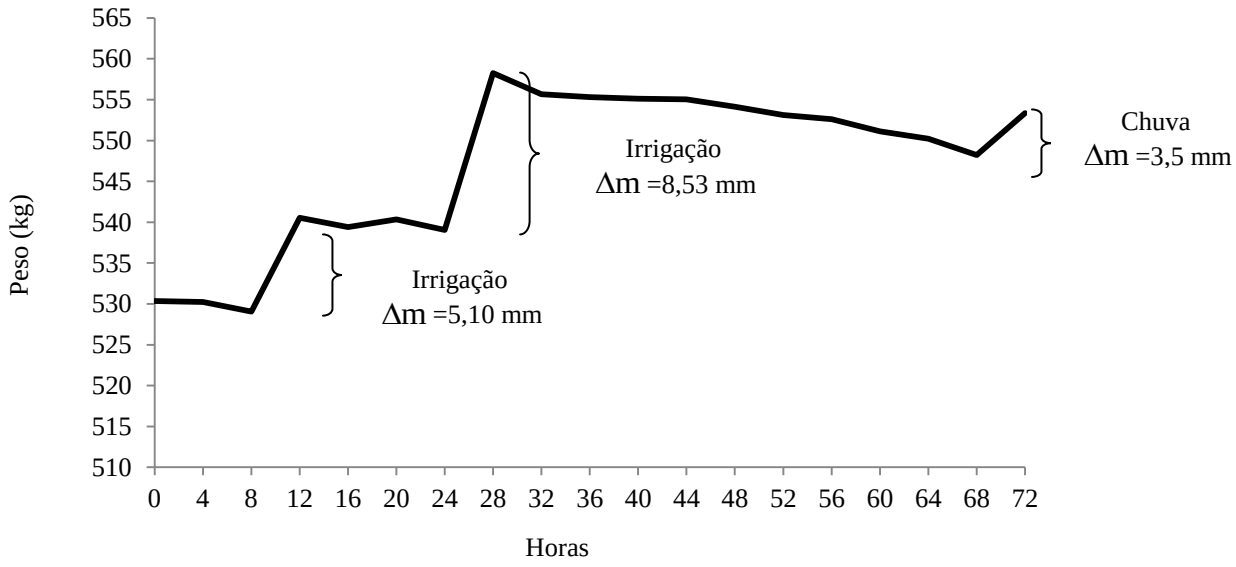


Figura 13: Variação de massa média dos lisímetros 1 e 2 (C) e 3 e 4 (D) em resposta a irrigação e chuva no cultivo do milho verde entre os dias 09 e 11/01/2012, em Mossoró/RN, 2012.

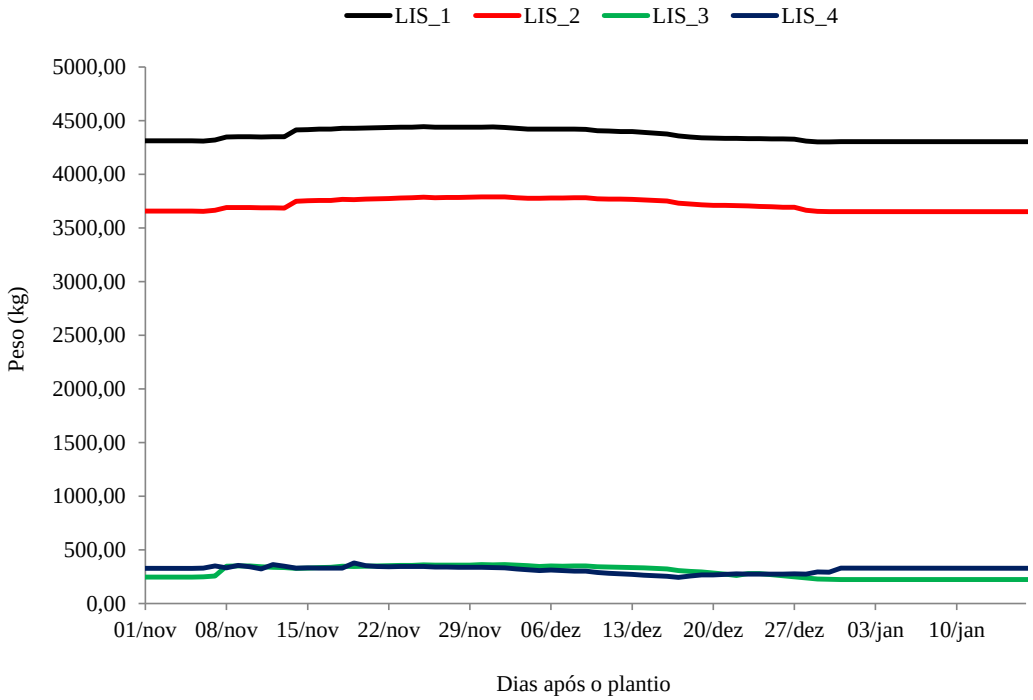


Figura 14: Variação de massa média dos lisímetros em resposta as perdas (ETc) e aos ganhos de massa (irrigação e chuva) durante o ciclo do milho, em Mossoró/RN, 2011-2012.

4.3 CALIBRAÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS SONDAS TDR

Para calibração das sondas TDR, foram realizadas leituras pelas oito sondas na água em três temperaturas diferentes (22,5, 31 e 42 °C), sendo que a relação entre a constante dielétrica e o teor de água no solo segue a proposta por Topp et al. (1980). Na Figura 15, verifica-se o comportamento das leituras da constante dielétrica pelas sondas e na Figura 16, verifica-se o comportamento da variação da umidade do solo determinadas pelas oito sondas TDR de procedência da Campbell: 1, 2, 3, 4, 5, 6, e as de construção artesanal Art 7 e Art 8 durante o ciclo da cultura do milho verde.

Observa-se que com o aumento da temperatura, a constante dielétrica apresentou redução nos seus valores. Na Tabela 3 verifica-se a média, desvio padrão (S) e o coeficiente de variação - CV (%) da constante dielétrica para as oito sondas nas três temperaturas nas quais foram feitas as calibrações.

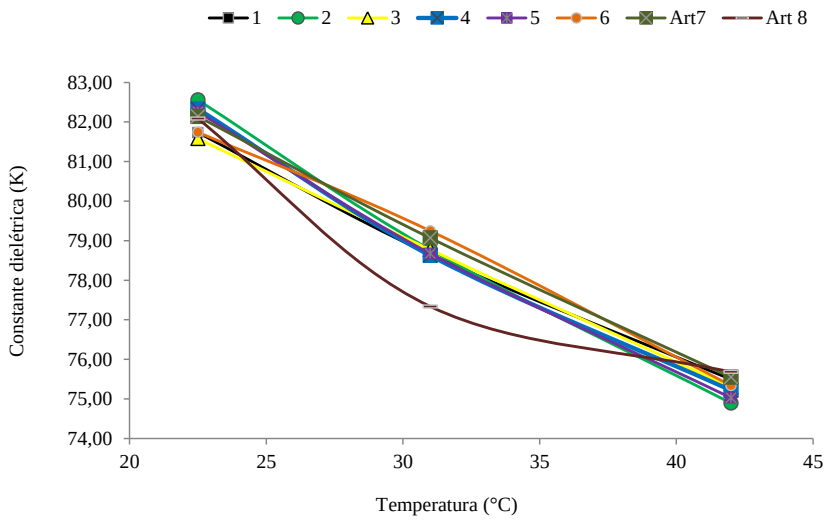
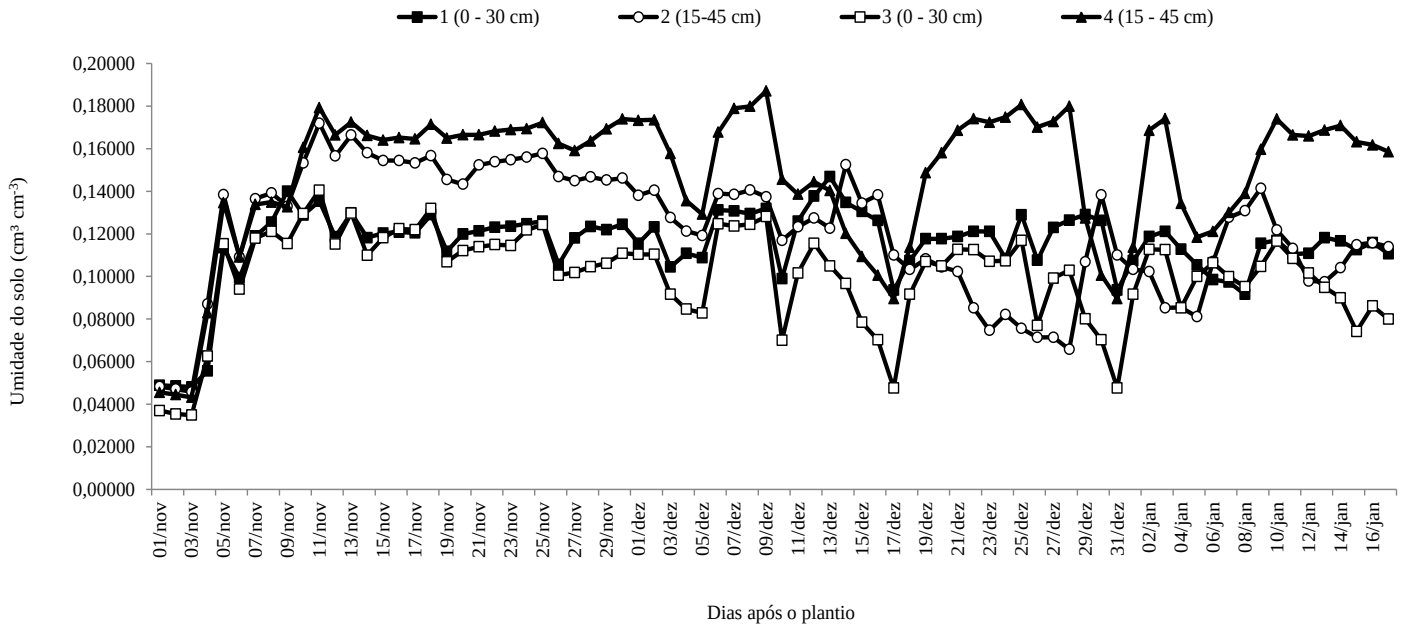


Figura 15: Comportamento das leituras das sondas em função da temperatura da água, em Mossoró/RN, 2011.

Faria (2009) calibrando as sondas TDR, ou seja, obteve a relação entre a constante dielétrica e o teor de água no solo, por meio de observações (n = 44) em uma caixa de isopor com solo acondicionado na mesma densidade encontrada nos lisímetros. Inicialmente foi acrescentado uma lâmina de água até elevar o seu teor em aproximadamente 0,02 m^3 m^{-3} sendo que, diariamente a massa com solo era determinada por pesagem e a constante dielétrica do solo úmido (Ka) era lida por cada sensor. Entre as leituras e a aplicação de água havia sempre um período de 24 horas, permitindo assim a uniformização da distribuição da água no solo da caixa, com isso foi estabelecido através do ajuste dos dados da constante dielétrica do solo, o teor de água a base de volume (θ), por meio da equação: $\theta = 0{,}008035K_a + 0{,}057191$, com R^2=0,9776.



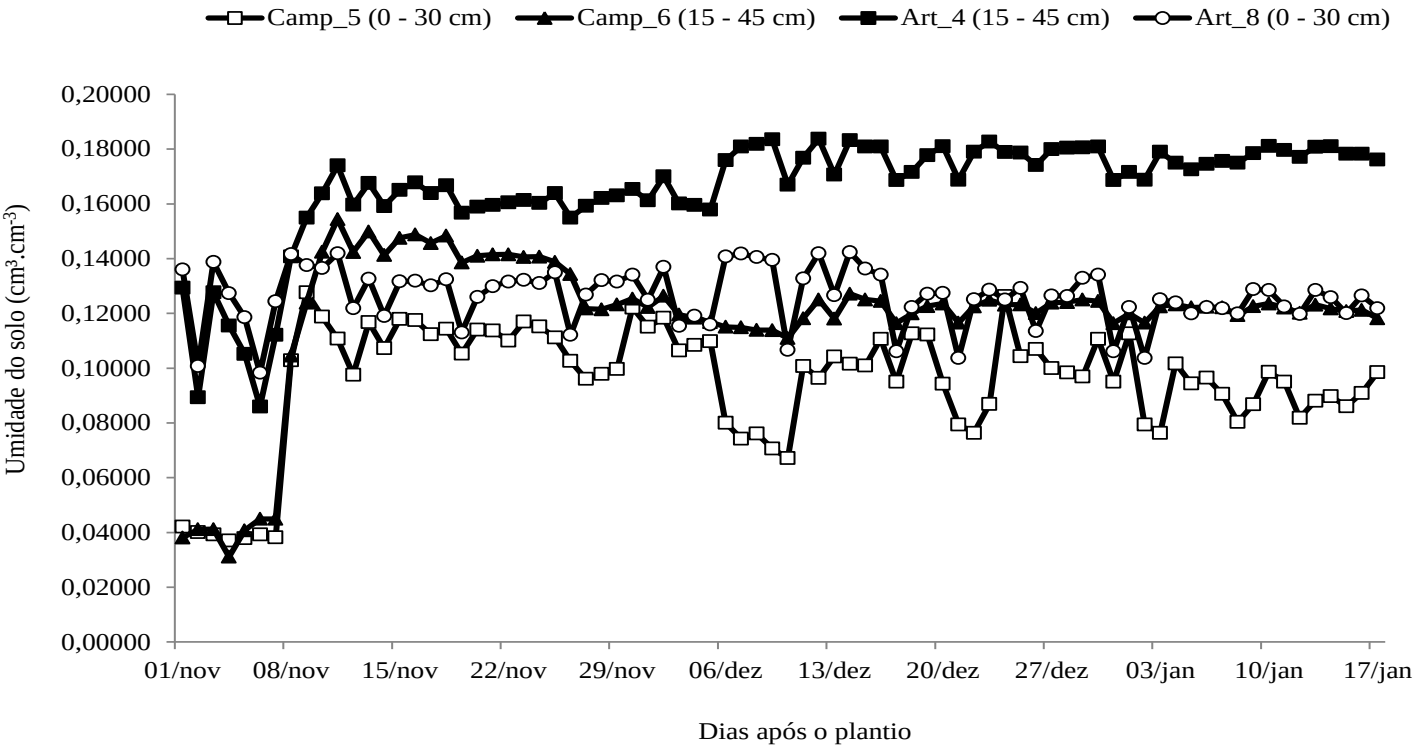


Figura 16: Variação da umidade do solo ao longo do ciclo da cultura do milho verde verificadas por meio das sondas 1 e 2 localizadas no lisímetro 3, sondas 3 e 4 localizadas no lisímetro 4 e as sondas 5, 6, Art4 e Art8 localizadas na área de plantio, em Mossoró/RN, 2011-2012.

Tabela 3: Média, desvio padrão e coeficiente de variação para a constante dielétrica das oito sondas TDR a diferentes temperaturas da água, em Mossoró/RN, 2011.

Sondas	Temperatura (°C)	$(\bar{X})$	S	CV (%)
1	22,5	81,73	0,21	0,26
	31	78,65	0,09	0,11
	42	75,49	0,13	0,17
2	22,5	82,56	0,30	0,36
	31	78,77	0,36	0,45
	42	74,89	0,11	0,15
3	22,5	81,58	0,06	0,08
	31	78,77	0,09	0,12
	42	75,30	0,21	0,28
4	22,5	82,33	0,27	0,33
	31	78,62	0,19	0,24
	42	75,22	0,27	0,36
5	22,5	82,25	0,38	0,47
	31	78,67	0,14	0,18
	42	75,03	0,22	0,29
6	22,5	81,74	0,06	0,07
	31	79,25	0,07	0,08
	42	75,34	0,32	0,42
Art4	22,5	82,14	0,59	0,72
	31	79,07	0,24	0,30
	42	75,55	0,39	0,51
Art8	22,5	82,09	0,31	0,37
	31	77,34	0,33	0,43
	42	75,68	0,24	0,32

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

Na Tabela 4, verifica-se a média, desvio padrão, coeficiente de variação e o erro padrão da média da umidade do solo registrada pelas oito sondas durante o ciclo da cultura nas profundidades de 0-30 cm e de 15-45 cm.

Tabela 4: Média, desvio padrão, coeficiente de variação CV (%) e o erro padrão da média da umidade do solo nas profundidades de 0-30 cm e de 15-45 cm verificado durante o ciclo da cultura do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012.

	Sondas							
Discriminação	1	2	3	4	5	6	Art8	Art4
Profundidade (cm)	0-30	15-45	0-30	15-45	0-30	15-45	0-30	15-45
Localização	Lis 3	Lis3	Lis 4	Lis 4	Linha de plantio	Linha de plantio	Linha de plantio	Linha de plantio
Média - $\bar{X}$ (%)	11,5	12,1	10,1	14,8	9,5	11,8	12,6	16,5
Desvio padrão – S (%)	1,9	3,0	2,3	3,3	2,2	2,7	1,0	2,0
Coeficiente de variação – CV (%)	16,2	24,7	22,6	21,9	23,4	22,6	8,1	12,3
Erro padrão da média S($\bar{X}$)	± 0,22	± 0,34	± 0,26	± 0,38	± 0,25	± 0,31	± 0,11	± 0,23

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

A variação da constante dielétrica apresentada na Tabela 3 pode ser explicada devido ela ser, em geral, sensível a presença de materiais magnéticos e de solutos no solo, tendo em vista a variabilidade do solo. A grande dificuldade em usar o TDR antes de qualquer estudo ou determinação de dados físicos, é justamente a necessidade da construção de uma curva de calibração do solo num experimento de campo (JOAQUIM JÚNIOR, 2003).

Ainda segundo Joaquim júnior (2003), em situações onde podem ocorrer grandes flutuações de temperatura, sua influência na constante dielétrica da água livre deverá ser sempre considerada; ainda segundo este autor numa superfície do solo, onde a temperatura

pode chegar próximo aos 50,00° C, a correção da constante dielétrica da água para mais se aproxima dos 11%; além do que, a variação espacial do conteúdo de água nesta faixa do perfil pode ocorrer de forma extremamente dinâmica, e por sua vez depende de uma série de fatores ligados aos agentes atmosféricos e/ou aos componentes e características do próprio solo (textura, estrutura, declividade, depressões, entre outros); aliado a estes fatores, o TDR proporciona a medição do conteúdo de água ao longo de todo o intervalo medido, ou seja, disponibiliza o conteúdo de água médio para cada profundidade que se deseja determinar o conteúdo de água no solo.

Barros Júnior et al. (2011) ao verificarem a acurácia de duas sondas TDR no monitoramento do conteúdo de água de um Argissolo de textura argilosa com A moderado, proveniente do Município de Lagoa Seca–PB a profundidade de 0-10 cm o conteúdo médio de água determinado pelo TDR para esta camada ficou em torno de 22% em volume. Na camada de 10-20 cm, a umidade determinada pela sonda do TDR indicou um conteúdo médio de 25,64% em volume, na camada de 20-30 cm, o conteúdo de água médio determinado pelo TDR ficou em torno de 23,6% em volume, já para o intervalo de profundidade de 30 a 40 cm, a umidade do solo obtida pela sonda TDR apresentou um valor médio de 27,18%. Esses resultados corroboram com o comportamento da variação da umidade do solo que representa uma tendência de aumento a medida que ocorre o aumento da profundidade em que é determinado o conteúdo de água no solo por meio das sodas TDR, isso pode ser verificado na Figura 16 e na Tabela 4.

Os valores absolutos entre as sondas são um pouco diferentes, isso reflete erros na própria instalação, entretanto verifica-se que difere dos dias do início da coleta de dados, pois os valores da umidade tendem a ficar mais ou menos constantes, indicando que o solo ficou sempre próximo da capacidade de campo.

4.4 DADOS DA FRAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SOLO UMEDECIDA POR IRRIGAÇÃO OU CHUVA (fw-FATOR DE MOLHAMENTO) DURANTE O CICLO DA CULTURA

Na Tabela 5, são apresentados os valores de fw para os lisímetros e para a área de plantio ao longo do ciclo da cultura.

Tabela 5: Fator de molhamento médio em (cm) e em decimal ao longo do ciclo da cultura do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012.

Fator de molhamento (fw)	LIS 1	LIS 2	LIS 3	LIS 4	Parcelas de plantio	Fases da cultura
fw médio (cm)	30,32	34,40	40,34	36,50	38,08	Fase I
fw médio (cm)	32,23	34,20	39,93	38,40	39,05	Fase II
fw médio (cm)	34,25	35,19	39,29	35,86	39,77	Fase III
fw médio (cm)	39,48	25,55	39,45	34,23	30,12	Fase IV
fw médio (cm)	34,07	32,34	39,75	36,25	36,76	Ciclo
fw médio (decimal)	0,26	0,25	0,31	0,28	0,29	Ciclo

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

4.5 PRODUTIVIDADE DA CULTURA E SEUS COMPONENTES

O peso total de espigas verdes empalhadas, assim como as espigas verdes empalhadas comercializáveis obtida na área foi de 12.239 kg ha^{-1}, e o número (média de 47.333 espigas ha^{-1}). Essa produtividade foi superior a alcançada por Câmara (2007), que obteve uma média de 11.785 kg ha^{-1}, e o número (média de 40.135 espigas ha^{-1}) avaliando 13 cultivares de milho na mesma área experimental em que foi conduzido esse experimento no ano agrícola de 1999 a 2000. Pinho et al. (2008) obteve um peso total de espigas verdes empalhadas de 19.886 kg ha^{-1} na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas/MG, na safra de 2007/2008.

O peso total de espigas verdes despalhadas foi 11.615 kg ha^{-1} e o peso total de espigas verdes despalhadas comercializáveis foi 6.380 kg ha^{-1} e o número (média de 26.000 espigas $há^{-1}$). Pinho et al. (2008), obteve um peso total de espigas verdes despalhadas em torno de 7.160 kg ha^{-1}, já Rocha et al. (2011) obteve uma produtividade inferior ao cultivar milho verde irrigado na grande Teresina, apresentando em média 8 a 10 t de espigas ha^{-1} (20.000 a 25.000 espigas ha^{-1}). Segundo Albuquerque et al. (2008), a média de produtividade de espigas verdes despalhadas comercializáveis para híbridos comerciais como o AG 1051 é 12.394 kg ha^{-1}, nas condições de Lavras–MG no agrícola de 2004/2005.

O peso total de espigas secas empalhadas foi 6.754 kg ha^{-1} e nos lisímetros foi 7.642 kg ha^{-1}, já o peso total de espigas secas despalhadas foi 5.926 kg ha^{-1} e nos lisímetros foi

6.714 kg ha^{-1}. A maior produção nos lisímetros pode ser explicada devido o efeito buquê (plantas maiores dentro dos lisímetros). O número médio de espigas/planta para milho verde e seco foi aproximadamente um, sendo o número médio de plantas para milho verde de 40 plantas por parcela e para o milho seco de 30 plantas por parcela. Do total de espigas analisadas, apenas quatro espigas apresentaram-se com manchas ou indícios evidentes do ataque de doenças e pragas e com granação e sanidade inadequada para a comercialização.

A produtividade total de grãos obtida na área foi de 4.849 kg ha^{-1}, já nos lisímetros foi superior, totalizando cerca de 5.581 kg ha^{-1}, o que pode ser explicado devido o efeito buquê. A produtividade obtida nesse estudo foi superior ao peso médio de grãos no cultivo do milho irrigado para as condições da região Nordeste que é de 5.021 kg ha^{-1} (CARVALHO et al., 2002). Ainda segundo Carvalho et al. (2002) a produtividade do milho oscila de 800 kg ha^{-1} nos sistemas de plantios tradicionais, onde se verificam consórcios com o feijão e o algodão, até mais de 6.500 kg ha^{-1}, em plantios tecnificados, comuns nos cerrados baianos, no Sul do Maranhão e no pólo Uruçuí-Gurgéia, no Estado do Piauí. Santos et al. (2001) avaliando o monitoramento localizado da produtividade do milho cultivado sob irrigação no município de Cassilândia/MS nos meses de junho a outubro de 2006, verificaram produtividade média de 9,5 t ha^{-1}, ficando acima da média nacional para o cultivo de sequeiro.

A Tabela 6 apresenta os componentes de produção obtidos por meio da amostra de 100 espigas para milho verde (peso total, comprimento e diâmetro médio da espiga empalhada e o peso total, comprimento e diâmetro médio da espiga despalhada). Para o milho seco (peso total da espiga empalhada e despalhada, teor de umidade dos grãos e peso médio de 100 grãos).

A produção de grãos corrigida para uma umidade de 15% para a área de plantio foi 4.038 kg ha^{-1}, já para os lisímetros foi 4.749 kg ha^{-1}. Carvalho et al. (2002), avaliando o peso de grãos com (15% de umidade), obteve uma média de rendimento de grãos variando de 3.262 kg ha^{-1}, na Bahia, no ano agrícola de 1998, a 8.323 kg ha^{-1}, em Parnaíba (ambiente irrigado), no Piauí, no ano agrícola de 2000, o que revela uma ampla faixa de variação nas condições ambientais em que foram realizados os ensaios.

Tabela 6: Componentes de produção para o milho verde e milho seco, obtidas da amostra de 100 espigas, em Mossoró/RN, 2012.

Componentes de produção	Milho verde Local-Área de plantio	Componentes de produção	Milho seco	Local	TU (%)
PE_PALHA (kg)	36,8 ± 0,37	PE_PALHA (kg)	19,3 ± 0,25	Área de plantio	29,2 ± 0,89
CE_PALHA (cm)	30,6 ± 0,26	PE_DESPALHADA (kg)	16,9 ± 0,21	Área de plantio	
DE_PALHA (cm)	5,8 ± 0,04	P_100 GRÃOS (g)	34,2 ± 2,34	Área de plantio	
PE_DESPALHADA (kg)	24,5 ± 0,25	PE_PALHA (kg)	10,5 ± 0,14	Lisímetros	27,7 ± 0,35
CE_DESPALHADA (cm)	17,0 ± 0,22	PE_DESPALHADA (kg)	9,2 ± 0,13	Lisímetros	
DE_DESPALHADA (cm)	4,9 ± 0,03	P_100 GRÃOS (g)	37,5 ± 2,74	Lisímetros	

PE_PALHA-Peso total da espiga empalhada
CE_PALHA-Comprimento médio da espiga empalhada
DE_PALHA-Diâmetro médio da espiga empalhada
PE_DESPALHADA-Peso total da espiga despalhada
CE_DESPALHADA-Comprimento médio da espiga despalhada
DE_DESPALHADA-Diâmetro médio da espiga despalhada
P_100 GRÃOS-Peso médio de 100 grãos
TU (%)-Teor de umidade dos grãos
± - Dispersão dos dados para um intervalo de confiança com 95% de probabilidade
Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

O comprimento médio das espigas verdes despalhadas se aproxima do obtido por Rocha et al. (2011), para o milho AG 1051 que foi de 17,7 cm em Teresina/PI. O comprimento da espiga empalhada foi inferior ao obtido por Pinho et al. (2008), que foi de 31,83 cm em Sete Lagoas/MG. O diâmetro da espiga despalhada se aproxima do relatado por Freire et al. (2010) que obteve um diâmetro de 4,95 cm no município de Prudente de Morais/MG, já para Lima, (2007), ao realizar um experimento com o milho AG 1051 na mesma área em que foi realizado esse estudo no período de agosto a dezembro de 2005 apresentou resultados inferiores em relação ao diâmetro da espiga empalhada que foi de 5,10 cm e o peso médio de 100 grãos que atingiu 35,0 g.

4.6 DESENVOLVIMENTO DA CULTURA

Durante o ciclo da cultura, a altura máxima das plantas foi de 2,38 m, sendo que a altura média correspondeu a 1,2 m, o número médio de folhas foi 14, o diâmetro médio da copa foi 48,28 cm e o máximo correspondeu a 81,00 cm para as plantas na fileira simples, já para a fileira dupla o diâmetro médio da copa foi 98,56 cm e o máximo correspondeu a 1,78 m. Albuquerque et al. (2008), obteve uma altura média para o milho AG 1051 de 2,54 m.

A Figura 17 apresenta o comportamento da altura média das plantas ao longo do ciclo vegetativo da cultura e o diâmetro da copa. Um modelo de crescimento pôde ser obtido para a altura das plantas nos lisímetros $y = -0,0018x^3 + 0,1781x^2 - 1,396x + 13,317$; $R^2=0,86$ e nas parcelas de plantio $y = -0,0013x^3+0,1635x^2 - 4,0873x + 45,908$; $R^2=0,79$, já para o diâmetro da copa das plantas nos lisímetros $y = -0,0003x^3 -0,0048x^2 + 3,302x – 6,8272$; $R^2=0,9712$ e nas parcelas de plantio $y = -0,0004x^3+0,0397x^2 + 0,2944x + 13,606$; $R^2=0,85$.

O diâmetro de copa atingiu seu valor máximo de 112,00 cm aos 50 DAP nos lisímetros, sendo que, logo após, já na senescência foi observada uma redução, chegando a 90 cm aos 77 DAP, já para as parcelas de plantio o valor máximo chegou a 102,07 cm aos 60 DAP, já na senescência foi observada uma redução, chegando a 88,64 cm aos 77 DAP.

A Figura 18 apresenta o número médio de folhas das plantas nos lisímetros e nas parcelas de plantio durante o ciclo do milho verde. Os maiores valores obtidos nos lisimetros para altura de plantas, diâmetro da copa e número de folhas evidenciam a ocorrência do efeito buquê (plantas maiores nos lisímetros).

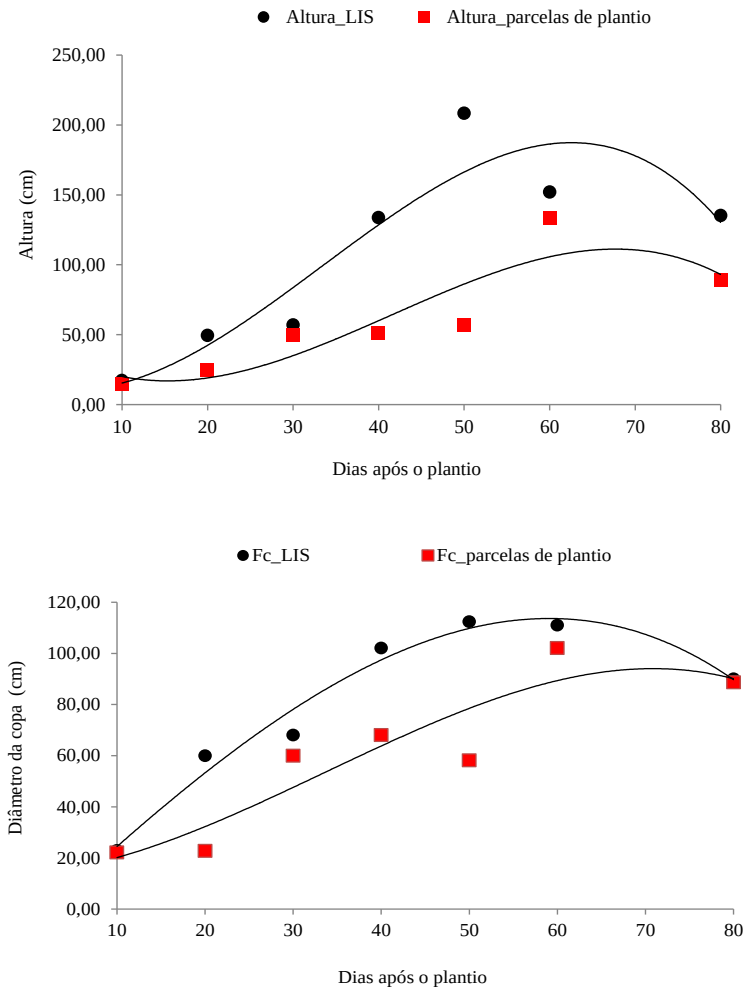


Figura 17: Altura média e o diâmetro médio das plantas nos lisímetros e nas parcelas de plantio ao longo do ciclo da cultura do milho verde em. Mossoró/RN 2011-2012.

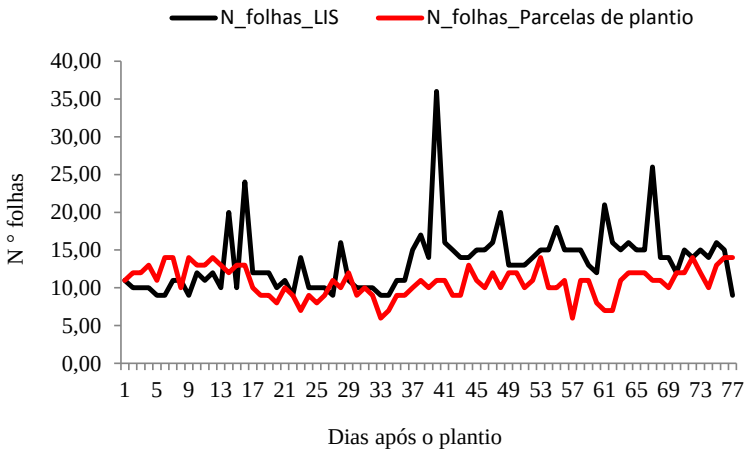


Figura 18: Número médio de folhas durante o cultivo do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012.

A matéria seca média durante o ciclo da cultura do milho verde da folha, caule, raiz, da espiga despalhada e da palha são apresentadas na Tabela 7. A massa seca total foi obtida com a soma da massa seca da folha, caule, raiz, da espiga despalhada e da palha, totalizando 1772 kg ha^{-1}.

Tabela 7: Matéria seca média durante o ciclo da cultura do milho verde em (kg ha^{-1}), aos 71 dias após o plantio da cultura do milho em Mossoró/RN, 2012.

Folha	Caule	Raiz	Espiga despalhada	Palha	Total
344,0 ± 18,47	647,3 ± 33,13	402,7 ± 65,400	280,0 ± 18,40	98,0 ± 5,33	1772,0 ± 140,73

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.
± - Dispersão dos dados para um intervalo de confiança com 95% de probabilidade

Lima (2007) num estudo com rendimento do milho AG 1051 em resposta ao controle de plantas daninhas e a lagarta-do-cartucho apresentou valor superior para a média de matéria seca das plantas de 2.435,4 kg ha^{-1}.

Na Tabela 8 são apresentados os valores de eficiência do uso da água (EUA), em relação á matéria seca, pela cultura do milho e em relação à produção de grãos em kg m^{-3} de água aplicada para estimativa com base na evapotranspiração medida diretamente nos lisímetros e pela metodologia da FAO–56, além da área foliar média e o índice de área foliar médio (IAF).

Por conta das variações nas taxas de desenvolvimento das culturas devido a cultivar e ás variações edafoclimáticas, inferindo em diferenças significativas, isso mostra a necessidade de determinações locais, principalmente na fase inicial dos cultivos quando se empregam recomendações generalizadas (SOUZA et al., 2011a).

Tabela 8: Eficiência do uso da água determinada a partir da MS e do rendimento de grãos em relação a ETc determinada pelos lisímetros e pelo método da FAO-56, área foliar média e o índice de área foliar médio (IAF), aos 71 dias após o planto da cultura do milho em Mossoró/RN, 2012.

LIS - EUA – MS (kg m^{-3})	FAO – 56 EUA – MS (kg m^{-3})	AF (cm^2)	IAF
0,59 ± 0,03	0,6 ± 0,02	6127,9 ± 253,96	4,1 ± 0,17
LIS - EUA (kg m^{-3} ha^{-1})	FAO – 56 EUA (kg m^{-3} ha^{-1})		
1,86 ± 0,10	1,9 ± 0,07		

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.
± - Dispersão dos dados para um intervalo de confiança com 95% de probabilidade

Soares e Klar (2006) obtiveram uma EUA média em relação á matéria seca superior para a cultura do milho de 2,98 kg m^{-3} e 3,23 kg m^{-3} com base na evapotranspiração medida diretamente nos lisímetros e na metodologia da FAO–56, respectivamente em Botucatu/SP.

Souza et al. (2008) ao determinarem a EUA para o rendimento de grãos pela metodologia do balanço hídrico chegaram a um valor de 0,73 kg m^{-3} ha^{-1} em Petrolina/PE. Essa variação deve-se as diferenças no rendimento da matéria seca e a evapotranspiração da cultura em cada local.

O índice de área foliar determinado no presente estudo apresentou-se próximo do obtido por Kunz et al. (2007), ao estudar o uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica no município de Eldorado do Sul/RS, observou que o IAF máximo atingiu valores de 4,9 a 5,2.

Na Tabela 9 são apresentados os valores de graus–dias acumulados (GDA), a duração determinada pelo crescimento das plantas e a temperatura média de cada estádio fenológico da cultura do milho verde nas condições de Mossoró/RN.

Tabela 9: Graus–dias acumulados em cada estádio fenológico da cultura do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012.

Fases	Duração	GDA (°C)	Tm (°C)
I – Inicial	16	280	27,48
II – D. vegetativo	20	345	27,24
III – Floração	27	474	27,57
IV – M. fisiológica	14	245	27,54
Ciclo	77	1344	27,46

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

Segundo Oliveira et al. (2006), durante as fase de desenvolvimento do milho, as temperaturas médias variaram em torno de 23,3; 22,4; 22,3 e 21,7 °C, respectivamente com os seguintes graus dias acumulado de 303; 172,2; 110,6 e 80,6 para a variedade de milho BR 106 na região de Arapiraca/AL.

Duarte et al. (2003) ao realizar um estudo do acúmulo de matéria seca e nutrientes do milho AG 1051 apresentou durante a fase de floração (885 graus–dias) e durante todo o ciclo um total de 1830 graus–dias no município de Palmital/SP.

A constante térmica ou os graus–dias acumulado (emergência a maturação) requerido pela cultura foi de 1344 graus-dias com uma duração de 77 dias com temperatura média durante o ciclo de 27,46 °C. Este valor foi próximo ao determinado por Almeida (2012) para o milho AG 1051 na mesma área experimental, porém em época de semeadura no mês de junho de 2010, obtendo um total de 1400 graus–dias.

4.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA

O ciclo do milho pode ser dividido em quatro estádios de desenvolvimento, distribuídos em três classes de demanda hídrica: Kcinicial (inicio do estabelecimento da cultura, nº de dias correspondente aos primeiros 10% do desenvolvimento vegetativo da cultura), Kcrescimento (pleno desenvolvimento da cultura, nº de dias correspondentes a 70-80% de desenvolvimento vegetativo) e Kcfinal (período de maturação), permitindo a verificação das tendências de evolução dos coeficientes de cultivo (ALLEN et al., 2006).

Na Figura 19 é apresentada a variabilidade da ETo, ETc medida por lisímetria e a ETc estimada pela metodologia da FAO. A ETo durante o ciclo da cultura apresentou uma variabilidade com valor mínimo de 3,07 mm dia^{-1} e o máximo de 5,45 mm dia^{-1}, totalizando 344,90 mm durante o ciclo da cultura no período de 18:00 às 5:00 horas, já para o período diária a ETo variou de 4,64 a 8,96 mm dia^{-1}, totalizando 495,50 mm durante o ciclo da cultura. A ETc apresentou uma variação de 1,94 mm dia^{-1} a 5,68 mm dia^{-1}, totalizando no final do ciclo 300,54 mm medida pelos lisímetros. Pela metodologia da FAO, a variação foi de 1,76 mm dia^{-1} a 6,02 mm dia^{-1}, totalizando no final do ciclo 298,68 mm. Soares e Klar (2006), ao avaliarem o desempenho de um conjunto de lisímetros para a cultura do milho, obtiveram uma ETc total medida pelos lisímetros de 276,64 mm, já pela metodologia da FAO foi 227,42 mm em Botucatu/SP. Souza et al. (2012) num estudo com evapotranspiração e coeficientes de cultura no cultivo do milho cultivar “Eldorado” usando lisímetros de pesagem para determinar a ETc por meio do balanço hídrico lisímetro-milho-solo com o ciclo da cultura apresentando duração de 115 dias obteve uma ETc total durante o ciclo de 394 mm em monocultivo, já em cultivo consorciado com mucuna-cinza (*Mucuna cinereum*) com duração do ciclo de 121 dias apresentou um consumo total de 437 mm no município de Seropédica/RJ.

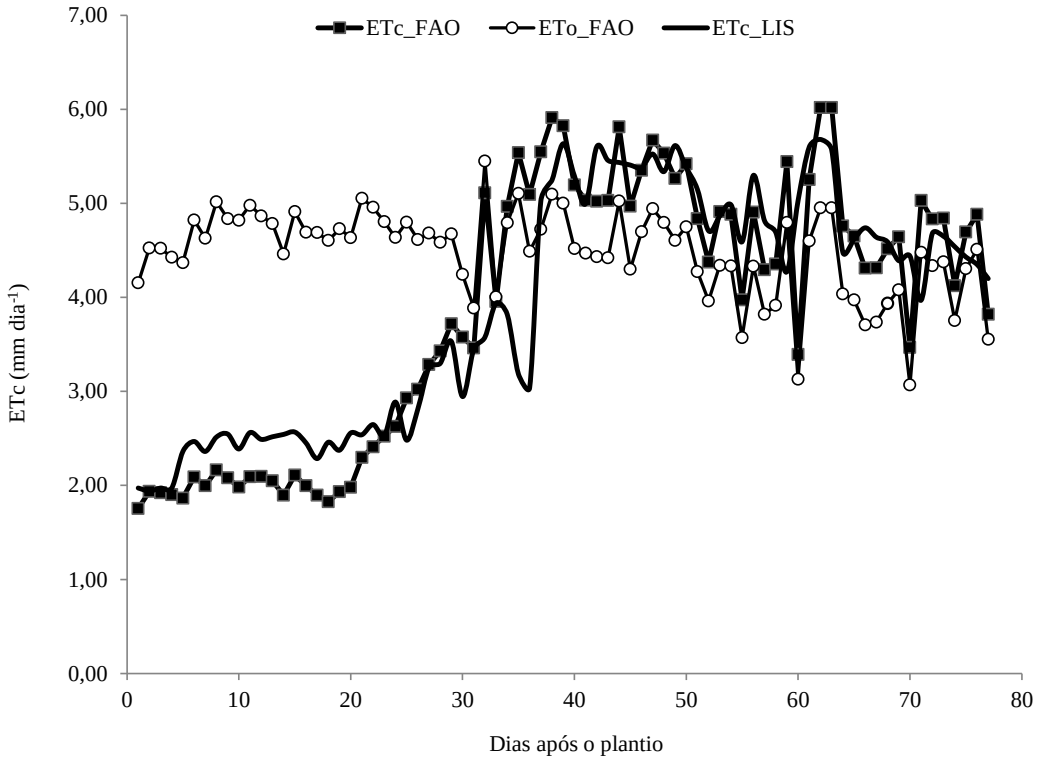


Figura 19: Evapotranspiração de referência (ETo_FAO), evapotranspiração da cultura medida (ETc_LIS) e evapotranspiração da cultura estimada (ETc_FAO) observada durante o ciclo do milho verde em, Mossoró/RN, 2011-2012.

A Figura 20, apresenta as ações de umedecimento do solo por meio das lâminas de irrigação médias durante o cultivo do milho verde.

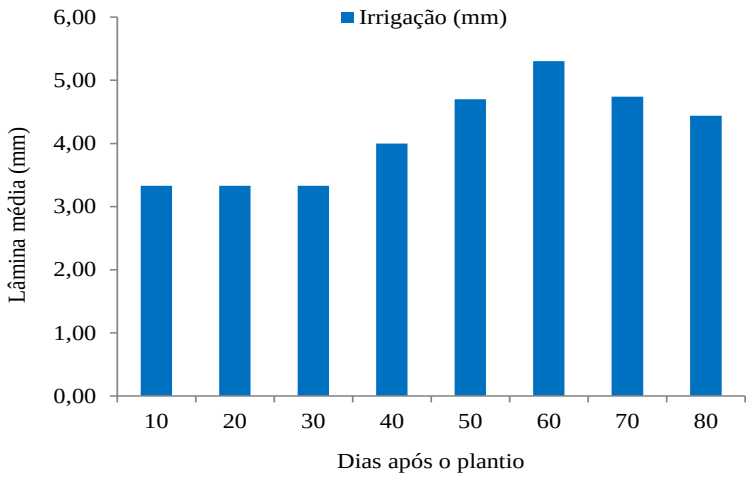


Figura 20: Ação de umdecimento do solo por meio da irrigação ao longo do ciclo da cultura do milho, em Mossoró/RN, 2011-2012.

A Figura 21 apresenta as curvas dos kc’s diários ao longo do ciclo da cultura obtidos por meio desse estudo.

Os valores médios apresentados na Tabela 10 (fase I - 0,50; fase II – 0,64; fase III – 1,12; fase IV – 1,11) diferiram dos apresentados por Souza et al. (2012) no cultivo do milho irrigado por aspersão (fase I - 0,76; fase II – 0,82; fase III – 1,04; fase IV – 0,58) em Seropédica/RJ.

Bezerra e Oliveira (1999), ao utilizar o método do balanço hídrico e um sistema de irrigação por gotejamento para determinar o Kc do milho, no litoral cearense encontraram valores de 0,73, 1,11, 0,95 e 0,64.

Os valores dos kc’s obtidos pelo lisímetro por meio do balanço hídrico lisímetro–milho–solo apresentaram-se próximos dos obtido pela metodologia da FAO, em todas as fases fenológicas, apresentando maior variação nas fases I e II.

No que diz respeito à duração das fases fenológicas das plantas nos lisímetros e da área de plantio, estas não diferiram, no entanto, as plantas dos lisímetros em cada fase apresentaram-se com maior vigor (folhas mais largas e maiores, plantas mais altas, pendão maior e espigas maiores em comprimento e diâmetro).

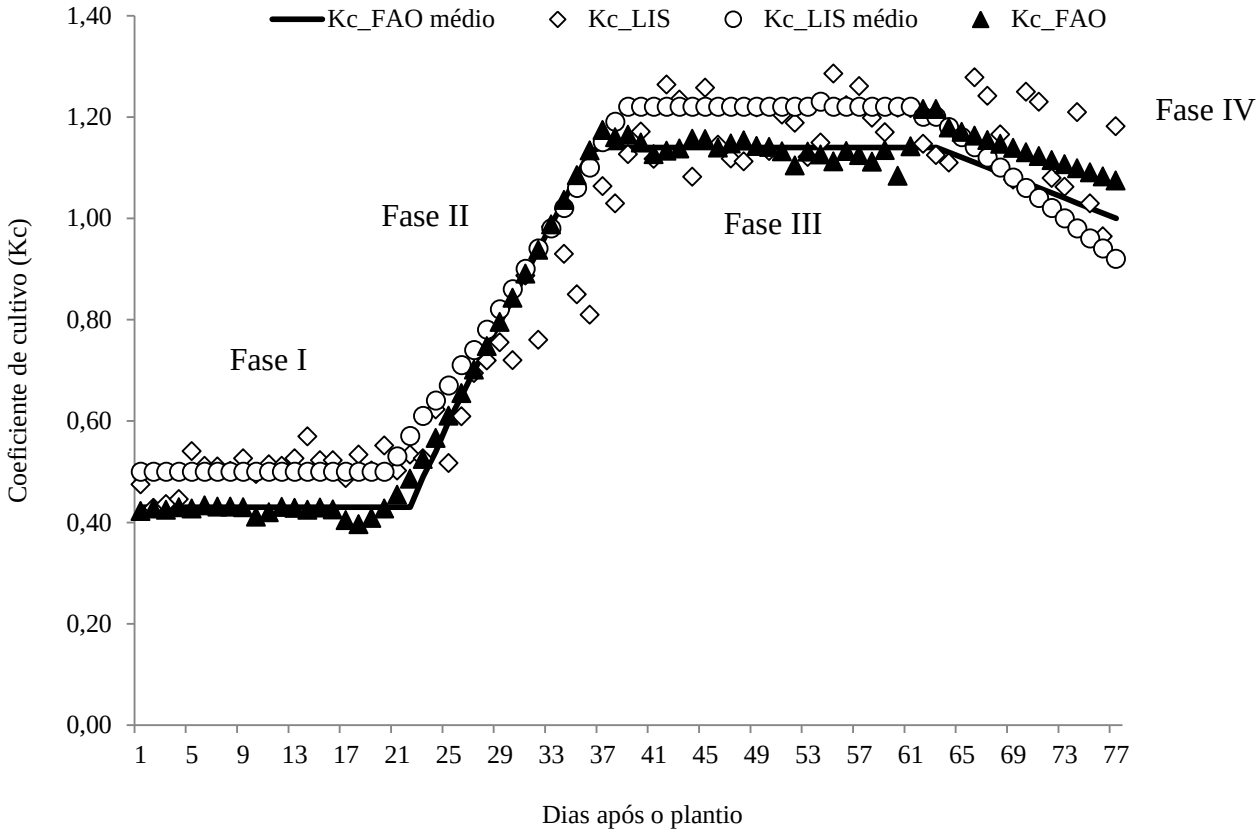


Figura 21: Coeficiente de cultivo (Kc) durante o ciclo da cultura do milho verde, em Mossoró/RN, 2011-2012.

Tabela 10: Duração das fases fenológicas e kc's médio obtidos pela metodologia da FAO e pelos lisímetros para a cultura do milho, híbrido AG 1051, para a região de Mossoró/RN, 2011-2012.

Fases	Duração	FAO-56	Lis 1	Lis 2	Lis 3	Lis4	LIS médio
I – Inicial	16	0,43	0,51	0,50	0,50	0,51	0,50
II – D. vegetativo	20	0,70	0,61	0,64	0,66	0,67	0,64
III – Floração	27	1,14	1,10	1,13	1,14	1,13	1,12
IV – M. fisiológica	14	1,13	1,09	1,11	1,10	1,12	1,11

Fonte: Resultados obtidos por meio da pesquisa.

Na Tabela 11 estão apresentados os 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 e semanal. Observa-se que a metodologia da FAO apresentou desempenho "muito bom" (c = 0,85), quando avaliado em escala diária, apresentando um erro padrão de estimativa de 0,61 mm dia^{-1}.

Quando avaliado em escala semanal, foi classificado como desempenho “bom” (c = 0,69) segundo o índice proposto por Camargo e Sentelhas (1997) e com um erro padrão de estimativa de 0,54 mm dia^{-1}.

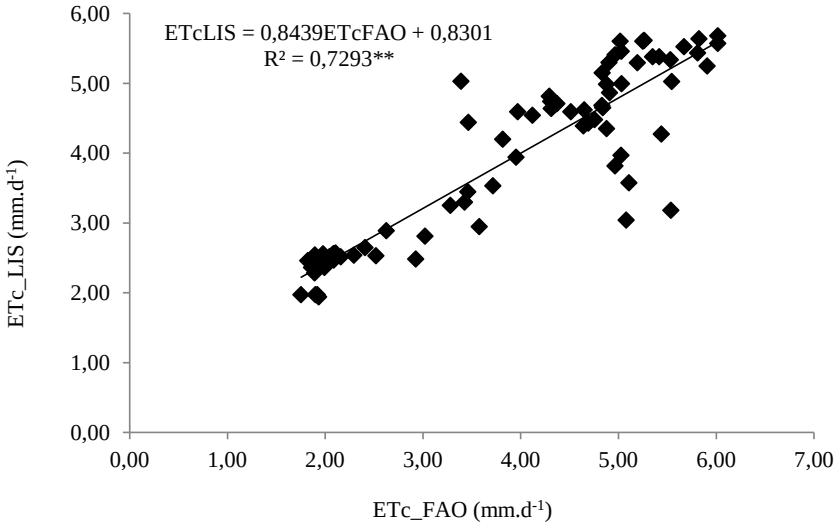
Tabela 11: Indicadores estatísticos “r”, “d”, “c” e “EPE”, para a ETc medida pelos lisímetros e a ETc estimada pela metodologia da FAO, em Mossoró/RN, 2011-2012.

Indicadores estatísticos	Diário	Semanal
r	0,90	0,79
d	0,94	0,87
c	0,85	0,69
EPE (mm dia^{-1})	0,61	0,54

Fonte: dados obtidos através da pesquisa.

Na Figura 22, verifica-se a relação entre a ETc medida pelos lisímetros e a ETc determinada pela metodologia da FAO e entre os kc’s em escala diária e semanal por meio de uma equação de regressão linear simples.

A



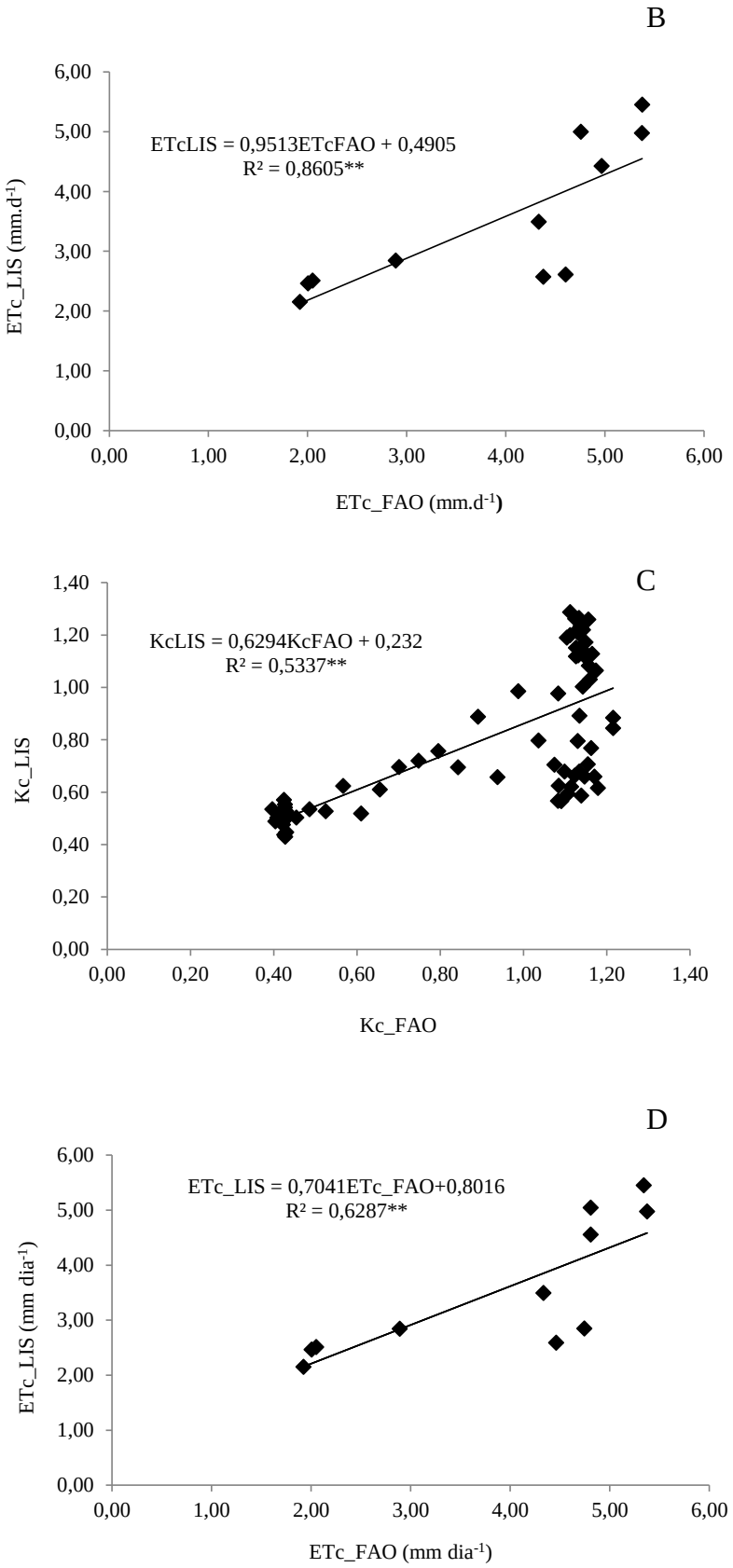


Figura 22: Análise de regressão entre os valores medidos e estimados da ETc do milho verde em escala diária (A) e semanal (B) e entre os kc's determinados pelos lisímetros e pela metodologia da FAO em escala diária (C) e semanal (D), em Mossoró/RN, 2011-2012.
** - Indica que há regressão linear ao nível de 1% de significância.

4.8 INTERVALO DE CONFIANÇA PARA A MÉDIA DOS KC'S EM CADA ESTÁDIO FENOLÓGICO DA CULTURA

Os intervalos de confiança com 95% de probabilidade para cada estádio fenológico pela metodologia da FAO e pelos lisímetros estão apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12: Intervalo de confiança para a média dos kc's pela metodologia da FAO e pelos lisímetros em cada fase fenológica da cultura, em Mossoró/RN, 2011-2012.

Fases	Duração(dias)	FAO	LIS
I – Inicial	16	$P(0,42 \leq \mu \leq 0,43) = 0,95$	$P(0,48 \leq \mu \leq 0,52) = 0,95$
II – D. vegetativo	20	$P(0,60 \leq \mu \leq 0,81) = 0,95$	$P(0,61 \leq \mu \leq 0,75) = 0,95$
III – Floração	27	$P(1,13 \leq \mu \leq 1,15) = 0,95$	$P(1,14 \leq \mu \leq 1,19) = 0,95$
IV – M. fisiológica	14	$P(1,11 \leq \mu \leq 1,14) = 0,95$	$P(1,08 \leq \mu \leq 1,17) = 0,95$

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

Tabela 13: Intervalo de confiança para os kc's determinados pelos lisímetros durante o ciclo da cultura do milho verde em escala diária e semanal, em Mossoró/RN, 2011-2012.

	Diário	Semanal
LIS 1	$P(0,82 \leq \mu \leq 0,96) = 0,95$	$P(0,68 \leq \mu \leq 1,01) = 0,95$
LIS 2	$P(0,83 \leq \mu \leq 0,96) = 0,95$	$P(0,71 \leq \mu \leq 1,03) = 0,95$
LIS 3	$P(0,81 \leq \mu \leq 0,94) = 0,95$	$P(0,69 \leq \mu \leq 1,02) = 0,95$
LIS 4	$P(0,81 \leq \mu \leq 0,95) = 0,95$	$P(0,71 \leq \mu \leq 1,06) = 0,95$
LIS médio	$P(0,83 \leq \mu \leq 0,96) = 0,95$	$P(0,73 \leq \mu \leq 1,08) = 0,95$

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

Os valores estimados para (Li - Limite inferior) e (Ls - Limite superior) indicam que a média dos Kc's para as fases I, II, III e IV da população com 95% de probabilidade de confiança deve estar neste intervalo para a metodologia da FAO e para os lisímetros.

O intervalo de confiança para os kc's determinados pelos lisímetros apresentou valores inferiores para as fases I e II, mas apresentaram valores próximos na fase III e superiores na fase

IV dos valores determinados por Souza et al. (2012) em cada fase fenológica da cultura do milho utilizando lisímetros de pesagem (fase I – 0,60 a 0,65; fase II – 0,80 a 0,90; fase III – 1,00 a 1,20; fase IV – 0,52 a 0,70) em Seropédica/RJ.

4.9 RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICA

Na Tabela 14 são apresentados os custos diferenciados, ou seja, os valores correspondentes aos itens de despesas que são diferentes para cada prática de colheita, além do custo total, custo adicional, receita total, receita adicional e lucro adicional.

Em relação aos custos com irrigação foi levado em consideração a implantação do sistema de irrigação por gotejamento que varia de R$ ha^{-1} 4.000 a 5.000, sendo considerado o preço médio de R$ ha^{-1} 4.500 e a energia. O Preço da energia (COSERN, 2012) para a região é R$/KWh 0,21considerando o consumo no horário normal, ou seja, não inclui a tarifa verde que compreende o horário das 21:00 às 6:00 h, pois os horários de irrigação ocorreram em média das a partir das 7:30 h.

No que diz respeito ao custo de energia (CE) para o cultivo do milho verde, levou-se em consideração os seguintes aspectos:

- Potência do conjunto moto – bomba: 3 CV
- Fator de conversão (CV em KW): 0,74
- Funcionamento diário: 2,25 h dia^{-1}
- Funcionamento durante o ciclo: 2,25 h dia^{-1} x 77 dias/ciclo = 173,25 h/ciclo
- Preço da energia (R$/KWh): R$ 0,21

Então o consumo de energia foi: 3 cv x 0,74 KW/cv x 173,25 h/ciclo = 384,62 kWh/ciclo = 384,62 kWh/ciclo x 0,21 R$/kWh = R$/ciclo 80,77.

Já para o milho seco foi levado em consideração os seguintes aspectos:

- Funcionamento diário médio: 2,00 h dia^{-1}
- Funcionamento durante o ciclo: 2,00 h dia^{-1} x 116 dias/ciclo = 232 h/ciclo

O custo de energia foi: 3 CV x 0,74 KW/CV x 232 h/ciclo = 515,04 kWh/ciclo = 515,04 kWh/ciclo x 0,21 R$/kWh = R$/ciclo 108,16.

Segundo Castro (2010), o custo da colheita manual para milho verde e seco corresponde a R$ ha^{-1}364 e R$ ha^{-1} 280, respectivamente.

Tabela 14: Indicadores econômicos para o milho AG 1051 por prática de Colheita, em Mossoró-RN, 2012.

		Custos Diferenciados (R$ ha^{-1})		Custo Adicional (R$ ha^{-1})
Práticas de Colheita	Irrigação	Colheita	Custo Total (R$ ha^{-1})	
Milho verde	4.580,77	364,00	4.944,77	- 56,61
Milho seco	4.608,16	280,00	4.888,16	
			Receita Total (R$ ha^{-1})	Receita Adicional (R$ ha^{-1})
Milho verde	Número de Espigas ha^{-1} 47.333	Preço (R$ Unidade de espiga^{-1}) 0,16	7.573,28	- 3.387,53
Milho seco	Peso (kg ha^{-1}) 5.581	Preço (R$ kg^{-1}) 0,75	4.185,75	
Milho verde			Lucro Adicional (R$ ha^{-1}) - 3.330,92	

Receita Adicional – diferença entre receita total do milho seco e a receita total do milho verde.
Custo Diferenciado – custo referentes a irrigação (energia elétrica e mão de obra) e colheita.
Custo Adicional – diferença entre custo diferenciado do milho seco e custo diferenciada do milho verde.
Lucro Adicional – diferença entre receita adicional e o custo adicional.
Dados obtidos através da pesquisa.

Para a prática de colheita do milho verde o custo de irrigação representou 92,64% do custo total e o da colheita 7,36 %, já para o milho seco o custo de irrigação representou 94,27% e o da colheita 5,73% em relação ao custo total.

Nota-se que tanto para as práticas de menor custo, quanto para as práticas de maior custo, os gastos com irrigação tiveram uma participação bastante considerável, o que corrobora com os resultados obtidos por Castro (2010) ao trabalhar com a prática de colheita de minimilho mais milho verde, para o milho AG 1051, na mesma área experimental em que foi realizado esse estudo.

No que concerne à receita total obtida com a venda do produto correspondente a cada prática de colheita, o milho verde foi o que proporcionou maior receita.

Utilizando a razão receita adicional/custo adicional, verifica-se que no caso da prática de colheita de milho verde, cada real aplicado no custo adicional, gera R$ 59,84 de receita adicional.

Castro, (2010) obteve um valor superior para cada real aplicado no custo adicional, obtendo um total de R$ 79,99 de receita adicional.

5. CONCLUSÕES

A evapotranspiração total da cultura (ETc) do milho verde foi de 300,54 mm para um ciclo de 77 dias, com valor médio diário de 3,90 mm um valor mínimo de 1,94 mm e o valor máximo chegando a 5,68 mm, valor esse obtido na fase de floração.

A ETc estimada com base na metodologia da FAO obteve um desempenho muito bom quando utilizada em escala diária e um desempenho bom para a escala semanal, segundo a classificação de Camargo e Sentelhas (1997) quando comparada com a ETc medida nos lisímetros de pesagem.

Os coeficientes de cultivo encontrados foram de 0,50; 0,64; 1,12 e 1,11 para as diferentes fases fonológicas, que tiveram duração de 16, 20, 27 e 14 dias respectivamente, para o milho verde AG 1051 nas condições edafoclimáticas de Mossoró/RN.

O intervalo de confiança para os kc's com 95% de probabilidade de confiança durante cada fase fenológica da cultura foram I–(0,48 a 0,52), II-(0,61 a 0,75), III-(1,14 a 1,19) e IV-(1,08 a 1,17).

Os valores de coeficiente de cultivo (Kc) obtidos podem ser utilizados para o manejo de irrigação do milho cultivado sob sistema de irrigação por gotejamento, nas condições edafoclimáticas do Município de Mossoró/RN no período em que esse estudo foi desenvolvido. No entanto, é importante destacar a realização de estudos futuros para determinação dos coeficientes de cultivo locais e ou regionais, pois os kc's variam devido a fatores como variedade, clima, solo, método de irrigação, teor de água no solo, manejo da cultura em campo seja em monocultivo ou em consórcio, além de outros.

Com relação ao crescimento da cultura a altura máxima das plantas atingiu 2,38 m. A produtividade alcançada para milho verde (espigas verdes empalhadas) foi de 12.239 kg ha^{-1}, já para espigas verdes despalhadas foi 11.615 kg ha^{-1} e para espigas verdes despalhadas comercializáveis foi 6.380 kg ha^{-1} e para milho seco foi de 5.581 kg ha^{-1}. A colheita do milho verde proporcionou o maior custo total e a colheita do milho seco, a menor receita e o menor lucro. Cada real aplicado no custo adicional proporcionou R$ 59,84 de receita adicional na prática da colheita do milho verde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, R. G. V.; BORGES, I. D.; SOUZA FILHO, A. X. de.; FIORINI, I. V. A.; Desempenho de híbridos experimentais e comerciais de milho para produção de milho verde. **Ciênc. agrotec**., Lavras, v. 32, n. 3, p. 768-775, maio/jun., 2008.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH. **Evapotranspiration del cultivo: guias 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.; PRUIT, W. O.; JENSEN, M. E. Envirormental requirements of lysimeters. In: 2006. Agric. **Water Manag**.,v. 85. pp. 15-26. 2006.

ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O. et al. (Ed.) **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements.** New York: American Society of Civil Engineers, 1991b. p. 170 – 181.

ALLEN, R. G.; WRIGHT, J. L.; PRUITT, W. O.; PEREIRA, L. S.; JENSEN, M. E. Water Requirements, In: HOFFMAN, J. H.; EVANS, R. G.; JENSEN, M. E.; MARTIN, D. L.; ELLIOT, R. R. **Design and operation of farm irrigation systems**, St, Joseph: ASABE, p. 207-288, 2007.

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).

ALMEIDA, B. M. de. **Evapotranspiração, coeficiente de cultura e produção do milho sob condiçoes de salinidade residual.** 2003. 82p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2012.

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

ANDRADE, C. de L. T.; PEREIRA, P. E.; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M.; **Circular técnica 85**, Sete Lagoas/MG, 2006.

ASCE-EWRI.; **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. ASCE EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Rep.,** ASCE, 2005.

BARROS JÚNIOR, G.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D. de.; GUERRA, H. O. C.; Acurácia de dois TDR na determinação do conteúdo de água de um argissolo. **Caderno de Geografia**, v.21, n.35, 2011.

BERGAMASCHI, H. Fenologia. In: **Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia** – Disciplinas de Graduação – Relações ClimaPlanta. Porto Alegre: UFRGS. Disponível em <http://www.ufrgs.br/agropfagrom/disciplinas/502/fenolog.doc>. Acesso em 8 fev. 2006.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MULLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p.831- 839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; RADIN, B.; ROSA, L.M.G.; BERGONCI, J.I.; ARAGONÉS, R.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; LANGENSIEPEN, M. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, v.1, p.23-27, 2001.

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.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MULLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.9, p.831- 839, 2004.

BERNARDO, S. 1995. **Manual de irrigação.** Viçosa: Imprensa Universitária. 657p.

BEZERRA, F. M. L.; OLIVEIRA, C. H. C. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultura para o milho em Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n.1, p. 8-17, 1999.

BISCARO, G. A.; MAIA S. C. M.; SILVA, da. T. R. B.; Influência da aplicação de água no milho verde irrigado na região do Cerrado Sul-Mato-Grossense. **Agrarian,** v.1, n.1, p. 67-77, jul./set. 2008.

BLANCO, F. F; VELOSO, M. E. da C.; CARDOSO, M. J.; DUARTE, R. L.R.; OLIVEIRA, J. J. F. de; Crescimento e produção do milho verde sob lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Hortic. bras.**, v. 27, n. 2 (Suplemento - CD Rom), agosto 2009.

BORGES, I.D. **Avaliação de épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, fontes de nitrogênio e de espaçamento entre fileiras na cultura do milho**. 2003. 73p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2003.

CÂMARA, T. M. M.; Rendimento de grãos verdes e secos de cultivares de milho. **Ceres,** jan/fev 2007.

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, nov, 1997.

CARDOSO, M.J.; MELO, F.B.; RIBEIRO, V.Q.; BASTOS, E.A. Produtividade de espigas verde de milho relacionada a níveis de nitrogênio, densidade de plantas e a irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31**.** ***Anais...*** Salvador: SBEA. CDROM, 2002.

CARMO FILHO F.; OLIVEIRA O. F. Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, (**Coleção Mossoroense, Série B**) 62p. 1995.

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**. Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.363- 372, 2007.

CARVALHO, H. W. L. DE.; SILVA LEAL, M. L. DA.; CARDOSO, M. J.; SANTOS, M. X. JOSÉ NILDO TABOSA, J. N.; BENEDITO CARLOS LEMOS DE CARVALHO, B. C. L.; LIRA, M. A. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no Nordeste brasileiro no triênio 1998 a 2000. **Pesq. agropec. bras**., Brasília, v. 37, n. 11, p. 1581-1588, nov. 2002.

CASTRO, R. S. de; **Rendimentos de espigas verdes e de grãos de cultivares de milho após a colheita da primeira espiga como minimllho.** 2010. 90 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia Área de Concentração Agricultura Tropical) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2010.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G. **Produção e necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi.** 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2011.

COELHO, E. F.; OR, D. Root distribution and water uptake patterns of corn under surface and subsurface drip irrigation. **Plan and Soil**, Dordrecht, v. 206, n. 2, p.123-136, 1998.

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamento de safra – Rio Grande do Norte-setembro/2009 Conab**, Disponível em:<http://www.conab.gov.br >. Acesso em: 15/07/2012.

COSERN, **Grupo Neoenergia**, 2012. Disponível em:<http://www.cosern.com.br/Acesso em>: 26/jul. 2012.

CRUZ, J. C.; KONZEN, E.A.; FILHO, I. A. P.; MARRIEL, I.E.; CRUZ, E.; DUARTE, J.O.; OLIVEIRA, M.F.; ALVARENGA, R.C. **Produção de milho orgânico na agricultura Familiar**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 17p. (EMBRAPA-CNPMS, Comunicado Técnico, 81), 2006.

DELEO, J. P .B. Se eu calcular todos os custos, desisto da roça. **Brasil Hortifrutigrangeiro**, v. 56, n. 5, p. 6-13, 2007.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. 1994. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB. 306p.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 306p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33), 2000.

DUARTE, A. P.; KIEHL, J. C. de; CAMARGO, M. A. F. de; RECO, P. C.; Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.1-20, 2003.

EHLERINGER, J. R.; CERLING, E. T.; HELLIKER, B. R. C4 photosynthesis, atmospheric CO_2, and climate**. Oecologia**,v. 12, 112, p.285-299, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Brasília: 1999. 412p.

EMBRAPA, **Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho.** Sete Lagoas/MG, 2006.

EMBRAPA, Sistemas de produção, **Cultivo do milho** 2000. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/> Acesso em: 07 ago. 2009.

EMBRAPA, **Milho e Sorgo**. 2012. <disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br> Acesso em: 26 abr. 2012.

Empresa de pesquisa agropecuária do rio grande norte diretoria executiva da EMPARN, **Culturas alimentares na agricultura familiar, 2012.** <disponível em: http://www.emparn.rn.gov.br> Acesso em: 25 jun. 2012.

ETENE- **Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste, setembro-2011, Etene** Disponível em:<http:// http://www.bnb.gov.br >. Acesso em: 15/07/2012.

EVANGELISTA, A. R.; ABREU, J. G. de; AMARAL, P. N. C. do; PEREIRA, R. C.; SALVADOR, F. M.; LOPES, J.; SOARES, L. Q. Composição bromatológica de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH) aditivadas com forragem de leucena (*Leucaena leucocephala* (LAM.) DEWIT). **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 29, n. 2, p. 429-435, 2005.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p.21-53.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2004.

FAO Food and Agriculture Organization **Milho: Principais países produtores,** 2010. Disponível em: <www.fao.org> Acesso em: jan. 2012.

FARIA, L. N.; **Partição da extração da água do solo por plantas entre camadas com teores de água distintos.** 2009. 62 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" –USP, Piracicaba – SP, 2009.

FARIA, R. T. de; CAMPECHE, F. de S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.237-242, 2006.

FELTRIN, R. M. **Comportamento das variáveis hidrológicas do balanço hídrico do solo em lisímetros de drenagem**. (Dissertação de mestrado). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. 2009, 94 p.

FERREIRA, V. M.; ANDRADE J ÚNIOR, A. S., MASCHIO, R.; CARDOSO, M. J.; SILVA, C. R.; MORAIS, E. L. C.; **Coeficientes de cultivo do milho em sistemas monocultivo e consorciado com feijão caupi.** XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 02 a 05 de julho de 2007–Aracaju–SE.

FREIRE, F. M.; VIANA, M. C. M.; MASCARENHAS, M. H. T.; PEDROSA, M. W.; COELHO, A. M.; ANDRADE, C. de L. T. de; Produtividade econômica e componentes da

produção de espigas verdes de milho em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.3, p. 213-222, 2010.

GREEN, S. R.; KIRKHAM, M. B.; CLOTHIER, B. E. Root uptake and transpiration: from measurements and models to sustainable irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 86, n. 3, p. 165-176, 2006.

GUERRA, H. O. C. **Física dos solos**. Campina Grande: UFCG, 173p, 2000.

GUIMARÃES, P.S. **Desempenho de híbridos simples de milho (Zea mays L.) e correlação entre heterose e divergência genética entre as linhagens parentais**. 2007. 111 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical Subtropical) – Instituto Agrnômico de Campinas, Campinas, 2007.

HEINEMANN, A.B.; SOUSA, S.A.V.; FRIZZONE, J.A. Determinação da lâmina ótima de água para cultura do milho doce na região de Sete Lagoas, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.147-151, 2001.

HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D.; JENSEN, M. E. **History of lysimeter design and use** JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE, 332p. 1991.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Ministério do planejamento e orçamento**, 2011. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 mar. 2012.

IDEMA, **Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte**, Natal (2004).

JOAQUIM JÚNIOR, G. O. **Desempenho do reflectômetro no domínio do tempo na detecção de variações de umidade do solo**. Piracicaba, 81 p. (Dissertação mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP/SP, 2003.

KUNZ, J. H.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo,espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesq. agropec. bras.,** Brasília, v.42, n.11, p.1511-1520, nov. 2007.

LEITE, C. A. M. **Planejamento da Empresa Rural**. Brasília: 66 p. (Curso de Especialização por Tutoria à Distância, v. 4), 1998.

LIMA, G.S.; ALBUQUERQUE, F Da S.; NUNES, M. F. F. N.; RIBEIRO, F. B. B; MENEZES, H. R. De; FRANÇA E SILVA, ; Ê. F. De. Determinação do coeficiente de cultura (kc) do pimentão através do balanço hidrico na região metropolitana do Recife. **X JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO** – JEPEX 2010 – UFRPE: Recife, 18 a 22 de outubro.

LIMA, M. S. de. **Rendimento do milho em resposta aos controles de plantas daninhas e da lagarta – do – cartucho.** (Dissertação de mestrado). Universidade Federal Rural do Semi – Árido – UFERSA – Mossoró/RN, 2007, 53f.

LÓPEZ-URREA, R.; MARTIN DE SANTA OLALLA, F.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A.Testing Evapotranspiration Equations Using Lysimeter Observations in a Semiarid Climate. J. LOSS, C.; GAYLER, S.; PRIESACK, E. Assessment of water balance simulations for large scale weighing lysimeters. **Journal of Hydrology**, v.335, p.259-270, 2007.

LOZADA, B.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura base e de graus-dia para estimativa da duração do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays)*. **Revista Brasileira de Agrometeorologia,** Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 31-36, 1999.

MAGALHÃES, P. C. ; PAIVA, E. Fisiologia da produção de milho. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília: EMBRAPA, SPI. p.65-92, 1993.

MATOS, E. H. da S. F.; Cultivo do Milho Verde, **DOSSIÊ TÉCNICO,** CDT/UnB, 2007.

MATOS, M.J.L.F.; TAVARES, S.A.; SANTOS, F.F.; MELO, M.F.; LANA, M.M. **Milho verde.** Brasília**:** EMBRAPA Hortaliças**,** 2007. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa. br/laborato/pos_colheita/dicas/milho_verde. htm>. Acesso em: 03 jun. 2007.

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, P. V. **Análise da evapotranspiracao de referencia a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empíricoteóricas com base na equação de Penman- Monteith**. (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 241 p, 2008.

MELO FILHO, J. F. de. **Variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em função da umidade de um latossolo sob condições de campo**. 2003. 145 f. Tese (Doutorado)-ESALQ, USP, Piracicaba, 2003.

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.

MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; SUGAWARA, M.T.; PEÇANHA, A.L.; GOTTARDO, R.D. Determinação do coeficiente cultural (kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p.471-475, 2007.

MIRANDA, F. R.; YODER, R. E.; SOUZA, F. 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.

MORAES, J.F.L.; YANAI, K. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.88-95, 2001.

MORAES, A. R. A. de; **Instituto Agronômico de Campinas**-Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, 2009.

MOURA, E. G. de; TEIXEIRA, A. P. R.; RIBEIRO, V. S.; AGUIAR, A. das C. F.; FARIAS, M. F. de. Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays*) submetido a vários intervalos de irrigação, na região da Pré-Amazônia. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2006.

NESMITH, D. S. & RITCHIE, J. T. Short – and long – term responses of corn to a pre anthesis soil water deficit. **Agron.** J., Madison, v.84, p.107-113, 1992.

OLIVEIRA, S. S. C. de; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; SOUZA, R. C.; ALMEIDA, A. C. S. dos; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I.; ABREU, M. L. de; COSTA, C. T. S.; BRITO, E. D. B. de; CRUZ, S. J. S.; Necessidade térmica do milho na região de arapiraca – alagoas, no ano de 2005. **ZOOTEC 2006** - 22 a 26 de maio de 2006 - Centro de Convenções de Pernambuco.

OLIVEIRA, T.K. de; CARVALHO, G.J. de; MORAES, R.N.S.; JERÔNIMO JUNIOR, P.R.M. Características agronômicas 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.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grão de milho**. Piracicaba. 2003, 90p. (Dissertação de mestrado), ESALQ/USP, 2003.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas, Guaíba: Agropecuária, 2002, 478p.

PEREIRA, L, S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes de culturais. **Engenharia Agrícola**, v.16, n.4, p.1l8-43, 1997.

PEREIRA, L. S.; **Necessidades de água e métodos de rega,** Lisboa: Publicações Europa-América, 2004, 312 p.

PEREIRA, L. S.; **Necessidades de água em regadio.** Taller e Mini-Curso sobre Técnicas de Riego y Fertirriego. Herramientas Computacionales para Diseño y Manejo, CYTED y Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 24-27 de Julho de 2007.

PERUCHI, F. **Evapotranspiração real a partir de medidas lisimétricas e sob diferentes condições de disponibilidade hídrica**. (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 143 p, 2009.

PINHO, L. de; PAES, M. C. D.; ALMEIDA, A. C. de; DA COSTA, C. A.; Qualidade de milho verde cultivado em sistemas de produção orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.7, n.3, p. 279-290, 2008.

PUPPO, L.; PETILLO-G, M. Determinacion del consumo de agua del duraznero por lisimetría. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, v.14, n.1, p.25-31, 2010.

R VERSION 2.12.1. Viena, Austria: Foundation for Estatistical Computing, 2010. (Software).

REICHARDT, K.; TIMM L.C.; **Solo, planta e atmosfera:** Conceitos, processos e aplicações. Barueri : Manole, 2004.

REIS, R. P. **Fundamentos de Economia Aplicada**. Lavras: UFLA/FAEPE, 95p. (Textos Acadêmicos), 2002.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P. **Métodos e estratégias para o manejo da irrigação.** Sete Lagoas, 10p. (Circular Técnica, 19), 2002.

ROCHA, D. R. da.; FILHO, D. F.; BARBOSA, J. C.; Efeitos da densidade de plantas no rendimento comercial de espigas verdes de cultivares de milho**. Hortic. bras.,** v. 29, n. 3, jul.-set. 2011.

SANGOI L. Understanding plant density effects on maize growth and development: na important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria**,** 31: p. 159 - 168. 2000.

SANGOI, L.; LECH, U.; RAMPAZZO, C. Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.3, p.259-267, 2002.

SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; GUIMARÃES, D.P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do milho na região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometerologia**, v.9, n.3, p.527-535, 2001.

SANTIAGO, A. V.; **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman – Monteith (FAO – 56), nas escalas mensal e decendial.** (Dissertação de mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 37f, 2001.

SANTOS A.O.; MAZIERO, J.V.G.; CAVALLI, A.C.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J.F.L.; YANAI, K. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.88-95, 2001.

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.

SANTOS, W. O. **Ajuste da evapotranspiração de referência estimada através de 10 métodos em Mossoró-RN à diferentes distribuições densidade de probabilidade.** 2010. 222 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN.

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, 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, P. S. L.; SILVA, P. I. B; SOUSA, A. K. F.; GURGEL, K. M.; PEREIRA FILHO, I. A.. Green ear yield and grain yield of maize after harvest of the first ear as baby corn. **Horticultura Brasileira,** v. 24, n. 2, p. 151-155, 2006.

SLAFFER, G. A.; OTEGUI, M. Is there a niche for physiology in future genetic improvement of maize yelds? In: SLAFFER, G.A.; OTEGUI, M. (Ed.). **Physiological bases for maize improvement**. Binghamton, Haworth, 2000. p.1-14.
SOARES, M. C. F. de.; KLAR, A. E.; **Avaliação do desempenho de um conjunto de lisímetros com uma cultura de milho (*Zea Mays* L.)**, 2006.

SOUSA GURGEL, G. C. de **Crescimento inicial do milho cultivado com diferentes manejos de irrigação por gotejamento para aplicação do efluente de aqüicultura.** 2009. 48 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN.

SOUZA, A. P. de; LIMA, M. E. de; CARVALHO, F. de; Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.** Recife, v.7, n.1, p.142-149, jan-mar. 2012

SOUZA, A.P.; PEREIRA, J.B.A.; SILVA, L.D.B.; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, D.F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum.** Agronomy, v.33, n.1, p.15-22, 2011a.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. S. da; BRANDÃO, E. O.; **Determinação do coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.) sob condições de semiárido brasileiro, 2008.**

SUDENE. **Divisão Agrológica Mapa Exploratório – Reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte**. Mapa ed. 75 x 85 cm, Escala 1:500.000, 1968. (Relatório anual).

TOMMASELLI, J. T. G. **Influência de algumas características do solo sobre a calibração de um aparelho de TDR (time domain reflectometry)**. 1997. 109 f. Tese (Doutorado), Centro Nacional de Energia na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, v. 16, n. 3, p. 574-582. 1980.

TOPP, G. C.; FERRÉ, P. A. The soil solution phase. In: DANE, J. H. & TOPP, G. C., eds. **Methods of soil analysis**. Wisconsin, Soil Science Society of America, p. 417-1071, 2002.

TUCCI C.E.M., **Hidrologia ciência e aplicação**, 3°. ed. rev., Porto Alegre, ABRH-Edusp, 2004, 943 p.

VALE, S. M.; MACIEL, M. **Administração Rural**. Brasília: 1998. 66p. (Curso de Especialização por Tutoria à Distância, v. 2).

VIEIRA, M. A. **Cultivares e população de plantas na produção de milho-verde**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

WILLMOTT, C. J. CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D, R.; O‟ DONNEL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models, **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v.90, n.5, p.8895-9055, janeiro, 1985.

ANEXOS

Dados meteorológicos ao longo do experimento no horário de 5:00 às 18:00 h, em Mossoró/RN, 2012.

DATA	T_média (°C)	UR média (%)	V_Vento média (m/s)	T_máx (°C)	UR máx (%)	T_mín (°C)	UR mín (%)	Rg (Mj/m²/dia)	P (mm)	ETo (mm/dia)
01/nov	28,03	60,35	3,45	31,70	78,67	23,36	46,44	18,08	0,00	4,15
02/nov	29,24	53,75	3,43	32,92	82,64	22,91	35,54	21,93	0,00	4,53
03/nov	28,93	57,49	3,23	33,17	85,23	22,53	42,10	21,96	0,00	4,52
04/nov	28,82	56,58	3,09	33,79	83,50	22,75	33,08	20,38	0,00	4,43
05/nov	28,72	56,69	3,11	33,05	80,70	22,28	39,07	19,68	0,00	4,37
06/nov	29,12	52,56	3,23	34,45	83,20	21,55	27,73	23,89	0,00	4,82
07/nov	28,69	54,98	3,18	33,93	83,28	21,36	28,26	25,17	0,00	4,63
08/nov	29,17	52,46	3,47	34,37	78,60	22,54	30,84	25,37	0,00	5,02
09/nov	29,49	52,50	3,86	33,36	78,29	23,15	33,89	23,60	0,00	4,84
10/nov	25,27	69,18	2,03	29,07	82,06	22,02	52,59	3,00	0,00	4,82
11/nov	27,30	63,67	3,38	30,47	78,29	23,40	50,29	1,62	0,15	4,98
12/nov	28,84	54,96	3,82	34,08	74,76	23,87	33,81	21,70	0,00	4,87
13/nov	28,71	54,26	3,52	32,98	78,36	22,46	34,45	22,43	0,00	4,78
14/nov	28,66	57,14	3,07	33,88	82,33	22,34	35,08	21,46	0,00	4,46
15/nov	29,31	53,25	3,25	33,93	81,07	22,41	29,63	23,05	0,00	4,91
16/nov	28,92	54,76	3,09	34,39	82,84	21,51	35,37	23,79	0,00	4,69
17/nov	28,81	58,09	3,43	33,18	84,88	22,31	40,03	23,82	0,00	4,69
18/nov	28,68	58,39	3,36	33,04	86,35	22,40	40,11	23,01	0,00	4,61
19/nov	28,98	54,95	3,20	33,36	84,69	22,37	35,51	23,70	0,00	4,73
20/nov	28,94	55,89	3,23	34,17	84,56	22,20	32,89	23,14	0,00	4,64
21/nov	29,11	52,67	3,48	34,14	84,56	22,17	31,38	25,24	0,00	5,06
22/nov	29,15	55,66	3,67	33,95	84,56	22,40	36,29	24,78	0,00	4,96
23/nov	29,39	55,63	3,32	35,40	84,56	22,29	33,62	22,46	0,00	4,81
24/nov	28,81	55,29	3,00	34,93	85,85	21,02	29,79	22,19	0,00	4,64
25/nov	28,86	53,78	3,35	33,32	84,56	22,40	32,89	22,33	0,00	4,80
26/nov	28,34	54,99	3,06	33,06	86,23	20,59	33,38	24,25	0,00	4,62
27/nov	29,07	54,92	3,14	34,38	84,56	22,40	32,09	24,36	0,00	4,68
28/nov	28,84	57,25	3,28	33,96	84,56	22,40	35,22	24,10	0,00	4,58
29/nov	29,03	55,91	3,41	33,82	84,56	22,40	35,57	22,17	0,00	4,68
30/nov	28,14	59,16	3,29	33,02	80,18	22,48	37,59	19,28	0,00	4,24
01/dez	28,42	57,48	3,02	32,39	81,73	23,01	39,10	15,98	0,00	3,89
02/dez	23,12	75,11	1,22	25,95	80,16	21,66	63,87	1,07	0,00	5,45
03/dez	29,26	51,75	3,62	32,59	79,52	21,74	36,84	18,88	0,00	4,00
04/dez	29,04	55,67	3,15	34,50	87,07	21,18	35,38	23,22	0,00	4,79
05/dez	29,30	52,03	3,33	36,01	84,56	20,04	23,66	24,09	0,00	5,11
06/dez	23,83	72,46	1,72	25,63	77,52	22,53	63,70	0,67	0,00	4,49
07/dez	29,83	46,53	3,63	34,22	77,36	22,53	30,24	24,41	0,00	4,73
08/dez	29,20	50,00	3,39	34,05	77,36	22,53	30,36	23,34	0,00	5,10
09/dez	29,43	51,89	3,32	34,89	83,12	22,02	28,60	23,87	0,00	5,00
10/dez	28,97	58,69	3,42	33,59	82,53	22,53	37,58	22,39	0,00	4,52
11/dez	28,57	59,11	3,36	32,41	85,97	22,53	40,88	22,35	0,00	4,47
12/dez	28,54	59,28	3,22	33,04	88,55	20,99	40,59	20,54	0,00	4,43
13/dez	28,66	58,55	3,37	32,47	86,91	21,54	41,88	20,63	0,00	4,42
14/dez	28,93	50,71	3,26	34,22	82,62	21,10	30,24	25,31	0,00	5,02
15/dez	29,32	53,84	3,70	33,45	82,62	21,10	36,85	21,21	0,00	4,30
16/dez	29,02	56,17	3,09	33,76	83,09	21,86	34,02	23,66	0,00	4,70
17/dez	29,28	52,78	3,20	35,43	80,00	22,09	31,83	24,09	0,00	4,94
18/dez	29,02	52,93	3,07	34,84	83,56	20,49	29,48	25,23	0,00	4,80
19/dez	29,10	54,50	2,81	34,60	82,16	22,22	31,13	22,57	0,00	4,61
20/dez	29,85	54,79	2,95	34,90	82,99	22,81	32,68	23,42	0,00	4,75
21/dez	28,89	58,39	2,90	33,79	79,53	23,24	36,92	20,59	0,00	4,27
22/dez	28,56	60,98	2,88	31,76	78,34	24,63	47,93	17,49	0,00	3,96
23/dez	28,97	57,92	2,94	33,38	79,63	23,76	37,95	21,85	0,00	4,34
24/dez	29,25	56,54	2,64	34,08	80,88	23,22	36,35	20,62	0,00	4,34
25/dez	27,68	60,94	2,01	34,81	85,04	20,02	35,86	15,57	0,00	3,57
26/dez	29,05	54,58	2,35	34,40	82,55	21,73	31,66	21,03	0,00	4,33
27/dez	29,00	53,01	2,07	34,06	70,67	23,04	32,70	19,93	0,00	3,82
28/dez	28,77	57,94	2,01	33,59	85,03	21,96	37,17	19,36	0,00	3,92
29/dez	28,75	54,04	3,11	32,89	85,42	22,95	34,04	24,12	0,00	4,80
30/dez	27,26	69,02	2,28	31,38	89,19	22,42	52,21	13,98	0,00	3,13
31/dez	29,22	56,44	2,94	34,64	86,43	21,71	33,36	23,53	0,00	4,60
01/jan	29,01	53,90	3,45	34,70	86,43	22,42	27,42	25,75	0,00	4,95
02/jan	29,01	53,90	3,45	34,70	86,43	22,42	27,42	25,75	0,00	4,95
03/jan	29,39	56,36	1,90	34,34	86,43	22,42	34,68	22,17	0,00	4,04
04/jan	28,85	58,00	2,22	33,87	80,63	23,45	34,92	20,80	0,00	3,97
05/jan	28,43	59,40	1,99	32,84	83,69	21,89	40,92	16,55	0,00	3,71
06/jan	28,92	57,57	2,19	33,14	85,10	22,72	38,45	18,04	0,00	3,74
07/jan	28,96	56,88	2,02	34,53	83,02	22,92	33,35	19,00	0,00	3,94
08/jan	29,32	55,93	2,03	34,23	84,37	21,07	35,53	19,34	0,00	4,08
09/jan	27,54	69,88	1,99	32,96	86,01	24,25	48,16	14,82	3,5	3,07
10/jan	28,86	55,31	2,49	34,38	87,07	20,88	30,25	23,11	0,00	4,48
11/jan	29,53	53,78	2,15	35,74	81,98	21,84	29,25	20,90	0,00	4,34
12/jan	29,77	53,59	2,30	34,81	79,55	22,34	33,54	22,01	0,00	4,38
13/jan	29,48	58,28	2,23	34,86	82,43	23,13	35,16	17,37	0,00	3,75
14/jan	29,65	55,45	2,07	35,55	85,60	20,65	30,87	21,79	0,00	4,30
15/jan	29,77	53,24	2,26	35,65	79,72	22,57	27,12	22,29	0,00	4,51
16/jan	28,22	56,29	1,64	32,90	79,23	22,42	33,91	14,63	0,00	3,55

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

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

DATA	T_média (°C)	UR média (%)	V_Vento média (m/s)	T _máx (°C)	UR máx(%)	T _mín (°C)	UR mín (%)	Rg (Mj/m²/dia)	ETo (mm/dia)	ETc_1 (mm/dia)	ETc_2 (mm/dia)	ETc_3 (mm/dia)	ETc_4 (mm/dia)	ETc_média (mm/dia)
01/nov	27,14	63,71	3,08	31,70	78,67	23,36	46,44	20,66	5,87	1,95	1,99	1,98	1,97	1,97
02/nov	28,19	60,31	2,87	32,92	82,64	22,91	35,54	29,25	7,28	1,93	1,98	1,95	1,90	1,94
03/nov	28,11	61,62	3,08	33,17	85,23	22,53	42,10	27,73	6,98	1,96	1,96	1,98	1,99	1,97
04/nov	28,08	59,98	3,16	33,79	83,50	22,75	33,08	25,75	7,19	1,96	1,97	1,97	1,99	1,97
05/nov	28,33	58,77	3,12	33,05	80,70	22,28	39,07	27,79	7,14	2,09	2,25	2,48	2,63	2,36
06/nov	28,14	57,58	3,07	34,45	83,20	21,55	27,73	30,18	7,92	2,50	2,60	2,58	2,19	2,47
07/nov	27,39	60,60	3,02	33,93	83,28	21,36	28,26	28,77	7,61	2,48	2,10	2,62	2,24	2,36
08/nov	27,92	56,27	3,16	34,37	78,60	22,54	30,84	28,99	7,83	2,67	2,83	2,02	2,54	2,52
09/nov	27,95	56,75	3,21	33,36	73,68	23,15	33,89	26,98	7,47	2,57	2,59	2,28	2,74	2,55
10/nov	24,86	68,10	2,21	29,07	82,06	22,02	52,59	27,98	3,76	2,45	2,58	2,05	2,47	2,39
11/nov	27,26	62,54	3,00	30,47	71,82	25,84	50,29	24,84	4,64	2,56	2,85	2,32	2,52	2,56
12/nov	27,54	59,13	3,20	34,08	74,76	23,87	33,81	21,70	6,91	2,60	2,37	2,49	2,50	2,49
13/nov	27,09	61,54	2,87	32,98	78,36	22,46	34,45	22,43	6,49	2,61	2,89	2,32	2,25	2,52
14/nov	27,02	62,90	2,36	33,88	82,33	22,34	35,08	21,46	6,04	2,55	2,10	2,98	2,54	2,54
15/nov	27,54	59,37	2,59	33,93	81,07	22,41	29,63	23,05	6,59	2,50	2,32	2,63	2,82	2,57
16/nov	27,06	62,86	2,51	34,39	82,84	21,51	35,37	23,79	6,49	2,48	2,23	2,52	2,58	2,45
17/nov	27,14	65,29	2,77	33,18	84,88	22,31	40,03	23,82	6,36	2,07	2,97	2,01	2,09	2,29
18/nov	27,23	64,90	2,68	33,04	86,35	22,57	40,11	24,01	6,29	2,07	2,48	2,49	2,80	2,46
19/nov	28,11	58,66	3,02	33,36	84,69	22,37	35,51	28,44	7,26	2,07	2,60	2,17	2,66	2,37
20/nov	27,85	59,99	3,13	34,17	82,95	22,20	32,89	26,44	7,30	2,85	2,32	2,35	2,71	2,56
21/nov	27,98	57,61	3,26	34,14	82,87	22,17	31,38	28,84	7,73	2,20	2,60	2,41	2,95	2,54
22/nov	27,72	60,30	3,14	33,95	81,06	23,14	36,29	25,86	7,15	2,83	2,85	2,53	2,38	2,65
23/nov	28,10	59,89	2,96	35,40	82,80	22,29	33,62	24,50	7,10	2,57	2,97	2,48	2,09	2,53
24/nov	27,76	59,50	2,90	34,93	85,85	21,02	29,79	25,36	7,14	3,21	2,73	2,98	2,63	2,89
25/nov	27,71	58,40	3,19	33,32	77,83	23,47	32,89	25,52	7,23	2,45	2,60	2,40	2,48	2,48
26/nov	27,46	60,68	2,90	33,06	86,23	20,59	33,38	29,11	7,20	2,70	2,97	2,85	2,73	2,81
27/nov	27,87	60,13	3,01	34,38	82,28	23,18	32,09	27,84	7,50	3,49	3,31	3,28	2,93	3,25
28/nov	27,82	60,65	3,11	33,96	79,45	22,92	35,22	27,54	7,40	3,08	3,35	3,03	3,73	3,30
29/nov	27,98	59,53	3,36	33,82	72,33	24,11	35,57	25,34	7,43	3,21	3,47	3,05	4,40	3,53
30/nov	26,93	64,64	3,04	33,02	80,18	22,48	37,59	19,28	6,06	3,21	2,22	2,73	3,62	2,95
01/dez	26,87	64,17	2,69	32,39	81,73	23,01	39,10	16,68	5,36	4,09	2,84	3,00	3,85	3,45
02/dez	23,32	74,43	1,11	25,95	80,16	21,66	63,87	22,50	6,36	4,41	3,15	3,58	3,17	3,58
03/dez	28,17	58,99	3,20	32,59	78,36	24,15	36,84	28,32	7,37	2,06	4,79	5,20	3,71	3,94
04/dez	27,22	63,49	2,52	34,50	87,07	21,18	35,38	23,22	6,36	3,48	3,36	4,70	3,73	3,82
05/dez	27,52	59,57	2,81	36,01	84,56	20,04	23,66	24,09	7,26	2,07	2,27	4,43	3,96	3,18
06/dez	24,04	72,20	1,43	25,63	77,52	22,53	63,70	29,27	8,11	2,96	2,92	3,26	3,02	3,04
07/dez	28,69	51,31	3,48	34,22	67,62	24,15	30,24	34,46	8,96	5,72	5,76	5,12	3,98	5,15
08/dez	28,02	54,05	2,92	34,05	77,18	22,72	30,36	26,63	7,34	5,93	5,79	5,41	3,76	5,22
09/dez	28,21	57,92	2,94	34,89	83,12	22,02	28,60	27,28	7,51	5,82	5,54	5,72	5,36	5,61
10/dez	28,06	64,01	3,23	33,59	82,53	23,08	37,58	26,86	7,20	5,35	5,30	5,11	5,46	5,31
11/dez	27,41	65,22	2,63	32,41	85,97	22,71	40,88	26,82	6,54	5,25	5,72	5,61	3,40	5,00
12/dez	27,74	64,24	2,88	33,04	88,55	20,99	40,59	24,65	6,38	5,68	5,67	5,21	5,85	5,60
13/dez	27,94	62,12	3,20	32,47	86,91	21,54	41,88	25,02	6,50	5,43	5,42	5,20	5,78	5,46
14/dez	27,14	58,21	2,80	34,22	82,62	21,10	30,24	25,31	6,99	5,30	5,35	5,97	5,36	5,50
15/dez	28,47	58,20	3,42	33,45	73,41	24,16	36,85	29,95	7,92	5,44	5,59	5,07	5,53	5,41
16/dez	27,33	62,55	2,47	33,76	83,09	21,86	34,02	23,66	6,39	5,25	5,68	5,45	5,14	5,38
17/dez	27,54	58,69	2,58	35,43	80,00	22,09	31,83	24,09	6,85	5,38	5,79	5,21	5,72	5,53
18/dez	27,23	60,51	2,59	34,84	83,56	20,49	29,48	25,23	6,90	5,45	5,72	5,14	5,04	5,34
19/dez	27,51	61,68	2,33	34,60	82,16	22,22	31,13	22,57	6,34	5,24	5,82	5,65	5,75	5,62
20/dez	28,10	61,11	2,40	34,90	82,99	22,81	32,68	23,42	6,51	5,12	5,17	5,91	5,32	5,38
21/dez	27,51	64,73	2,47	33,79	79,53	23,24	36,92	20,59	5,99	4,34	5,35	5,85	5,05	5,15
22/dez	27,27	66,95	2,46	31,76	79,27	24,52	47,93	17,49	5,09	4,33	4,21	5,23	5,06	4,71
23/dez	27,48	63,35	2,56	33,38	79,63	23,76	37,95	21,85	6,16	4,10	4,69	5,10	5,57	4,87
24/dez	27,80	60,75	2,18	34,08	80,88	23,22	36,35	20,62	5,81	4,85	4,94	5,07	5,08	4,99
25/dez	26,55	65,19	1,57	34,81	85,04	20,02	35,86	15,57	4,61	4,35	4,48	4,19	5,35	4,59
26/dez	27,33	61,55	1,96	34,40	82,55	21,73	31,66	21,03	5,78	4,72	4,57	5,93	5,97	5,30
27/dez	27,37	60,16	1,74	34,06	75,25	23,04	32,70	20,80	5,62	4,47	4,62	4,62	5,55	4,82
28/dez	27,07	65,98	1,70	33,59	85,03	21,96	37,17	19,36	5,14	4,97	4,70	4,26	4,84	4,69
29/dez	27,10	63,50	2,29	32,89	85,42	22,95	34,04	24,12	6,23	4,20	4,02	4,41	4,46	4,27
30/dez	26,48	71,67	2,06	31,38	89,19	22,42	52,21	13,98	4,03	4,01	4,02	4,03	4,05	4,03
31/dez	27,51	62,86	2,52	34,64	84,96	21,71	33,36	23,53	6,52	4,67	4,60	4,34	4,81	4,60
01/jan	27,87	59,01	3,22	34,70	79,67	22,50	27,42	29,42	8,06	4,03	4,11	4,27	4,29	4,18
02/jan	27,73	59,54	3,16	34,70	79,67	22,50	27,42	28,09	7,85	4,01	4,01	5,02	4,45	4,37
03/jan	27,82	63,68	1,67	34,34	86,43	22,42	34,68	22,17	5,63	4,32	4,64	4,23	4,30	4,37
04/jan	27,40	63,41	1,81	33,87	80,63	23,45	34,92	20,80	5,58	4,60	4,34	4,17	4,72	4,46
05/jan	26,90	65,80	1,63	32,84	83,69	21,89	40,92	16,55	4,57	4,33	4,77	4,56	4,88	4,64
06/jan	27,16	66,18	1,72	33,14	85,10	22,72	38,45	18,83	5,03	4,23	4,47	4,71	4,53	4,49
07/jan	27,35	64,33	1,68	34,53	83,02	22,92	33,35	19,00	5,27	4,20	4,47	4,38	4,85	4,48
08/jan	27,73	62,97	1,83	34,23	84,37	21,07	35,53	19,34	5,32	4,20	4,25	4,36	4,39	4,30
09/jan	26,76	70,38	1,92	32,96	86,01	24,25	48,16	14,82	4,38	4,18	4,40	4,28	4,51	4,34
10/jan	27,16	60,84	1,95	34,38	87,07	20,88	30,25	23,11	6,03	4,32	3,44	4,20	3,50	3,87
11/jan	27,91	60,44	1,82	35,74	81,98	21,84	29,25	20,90	5,85	4,36	4,45	4,46	4,82	4,52
12/jan	28,03	61,79	1,88	34,81	80,33	22,18	33,54	22,01	5,90	4,52	4,54	4,36	4,58	4,50
13/jan	27,86	64,69	1,74	34,86	82,43	23,13	35,16	18,29	5,24	4,58	4,42	4,40	4,38	4,45
14/jan	28,04	61,95	1,67	35,55	85,60	20,65	30,87	21,79	5,73	4,30	4,50	4,25	4,26	4,33
15/jan	28,22	58,01	1,90	35,65	79,72	22,57	27,12	22,29	6,19	4,28	4,60	4,40	3,78	4,27
16/jan	27,19	61,51	1,49	32,90	79,23	22,42	33,91	14,63	4,39	4,02	4,20	4,12	4,18	4,13

Fonte: Dados obtidos através da pesquisa.

Figura 23: Fase I-fase inicial: 10% de cobertura do solo - (semeadura-emergência) da cultura do milho verde em Mossoró/RN, 2011.

Figura 24: fase de crescimento: final da fase inicial até 80% da cobertura do solo (pendoamento-florescimento da cultura do milho verde em Mossoró/RN, 2011.

Figura 25: Fase III-fase intermediária: 80% de cobertura do solo até o início da maturação dos frutos, (produção-enchimento dos grãos) da cultura do milho verde em Mossoró/RN, 2011-2012.

Figura 26: Faze IV-fase final: do inicio da maturação até a colheita dos frutos (maturação-colheita) da cultura do milho verde em Mossoró/RN, 2011-2012.