



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Dissertação de Mestrado

CONSUMO HÍDRICO DA MAMONEIRA CULTIVAR BRS ENERGIA
IRRIGADA COM ÁGUA SALINA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

CRUZ RAMÓN MARENCO CENTENO

Campina Grande
Paraíba

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CRUZ RAMÓN MARENCO CENTENO

**CONSUMO HÍDRICO DA MAMONEIRA CULTIVAR BRS ENERGIA
IRRIGADA COM ÁGUA SALINA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**CAMPINA GRANDE, PB
MARÇO, 2009**

CRUZ RAMÓN MARENCO CENTENO

**CONSUMO HIDRICO DA MAMONEIRA CULTIVAR BRS ENERGIA
IRRIGADA COM ÁGUA SALINA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola do Centro Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, PB, em cumprimento das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Irrigação e Drenagem

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo
Prof. Dr. Delfran Batista dos Santos**

**CAMPINA GRANDE, PB
MARÇO, 2009**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFSCG

C397c

2009 Centeno, Cruz Ramón Marengo.

Consumo hídrico da mamoneira cultivar BRS energia irrigada com água salina no semi-árido brasileiro / Cruz Ramón Marengo Centeno. — Campina Grande, 2009.

79f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo e Prof. Dr. Delfran Batista dos Santos.

1. Balanço Hídrico - Evapotranspiração. 2. Mamona BRS Energia. 3. Eficiência de Uso de Água. I. Título.

CDU 556.13:633.85(043)



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



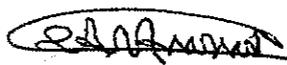
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

CRUZ RAMÓN MARENCO CENTENO

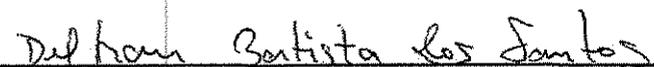
CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DA MAMONEIRA, CULTIVAR BRS ENERGIA, IRRIGADA COM ÁGUA SALINA NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO

BANCA EXAMINADORA

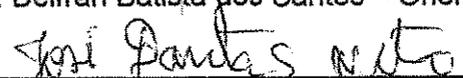
PARECER



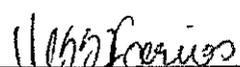
Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo – Orientador



Dr. Delfran Batista dos Santos – Orientador



Dr. José Dantas Neto – Examinador



Dra. Maria Sallydelândia Sobral de Farias – Examinadora

Aprovado

Aprovado

APROVADO

APROVADO

MARÇO – 2009

Lo Fatal

*Dichoso el árbol, que es apenas sensitivo,
y más la piedra dura porque esa ya no siente,
pues no hay dolor más grande que el dolor de ser vivo,
ni mayor pesadumbre que la vida consciente.*

*Ser y no saber nada, y ser sin rumbo cierto,
y el temor de haber sido y un futuro terror...
Y el espanto seguro de estar mañana muerto,
y sufrir por la vida y por la sombra y por
lo que no conocemos y apenas sospechamos,
y la carne que tienta con sus frescos racimos,
y la tumba que aguarda con sus fúnebres ramos,
¡y no saber adónde vamos,
ni de dónde venimos!...*

Rubén Darío, 1905

Em memória de meus Pais, Segundo Amado Marengo Palácios e Silvia del Carmen Centeno Arúz, porque sei que sempre estarão ao meu lado, ajudado-me a vencer todas as dificuldades que a vida apresenta.

OFEREÇO

A DEUS, sobre todas as coisas; a minha esposa, Raimunda Alves Marengo Centeno, a minha grande amiga Vanda Maria de Lira, a minha filha Anna Raphaella, pelo estímulo e força em toda essa caminhada, e a meus familiares que, mesmo estando longe demonstraram, continuamente, seu apoio e solidariedade; com muito amor e consideração

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Nosso Padre Divino Celestial, por me ensinar a manter o equilíbrio entre o corpo e o espírito para enfrentar todas as vicissitudes da vida, com muita segurança e paz.

Ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em especial à coordenadora Josivanda Palmeira e às funcionárias Rivanilda e Aparecida, pelo carinho e bondosa colaboração nos serviços a mim prestados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro em prol da realização do experimento e pela concessão da bolsa de estudo.

Agradeço, de maneira muito especial, aos orientadores, Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo e Dr. Delfran Batista dos Santos, pela orientação, paciência, apoio e compreensão durante a execução deste trabalho.

Ao doutorando e amigo João Batista dos Santos, pelo empenho carinhoso e dedicado que, juntos, tivemos, para a condução e realização deste trabalho.

Ao diretor da Escola Federal Agrotécnica de Senhor do Bonfim, Prof. João Luis de Almeida Feitosa, pela excelente cooperação em me, fornecer todos os recursos necessários para que o experimento fosse conduzido na Escola de forma adequada e exitosa; aos funcionários da escola e aos responsáveis pelo alojamento e pelo restaurante os quais me acolheram com amizade e comigo contribuíram no que foi possível.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Agrícola, que me têm acompanhando neste caminho, através de seu conhecimento; especialmente ao professor Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo, por todo o estímulo e empenho para o meu ingresso neste Programa de Pós-Graduação, e à Dra. Maria Sallydelandia Sobral de Farias, por todas as informações e ensinamentos, os quais serão sem dúvida, de extrema importância para a minha vida profissional.

*Aos inesquecíveis companheiros de curso, Vianey Pimentel, Aparecida Rodrigues, Michele Silva, Uilma Queiroz, Aline Ferreira, Kaline Dantas, Leda Dantas, Allan Nunes, Leandro de Andrade, Antonio Tavares, Marcos Barbosa, Braz Rodrigues, Boanerges Junior, Evandro Mesquita, Francisca Magnólia, Newton Araújo, Rogério, Manasses Mesquita, Cicero Cordão, por todos os momentos que compartilhamos, com alegria, afeto, solidariedade e estudo, enfim, com uma só palavra – **AMIZADE**, saboreamos e entendemos a feliz possibilidade de intercambiar pequenos conhecimentos os quais, no entanto, e apesar de termos vivido, até agora, tão pouco, somos cientes de que nosso grande Mestre Maior e Único, **JESUS CRISTO**, concedeu, não só a nós mesmos mas também às pessoas que não foram aqui mencionadas mais que direta ou indiretamente, contribuíram e participaram desta caminhada, deixo-lhes meu permanente e carinhoso abraço.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1 - INTRODUÇÃO.....	12
2 - OBJETIVOS.....	14
2.1 - Objetivo geral.....	14
2.2 - Objetivos específicos.....	14
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 - A cultura da mamoneira (<i>Ricinus communis</i> L.).....	15
3.2 - Balanço hídrico.....	17
3.3 - Salinidade.....	19
3.4 - Efeito da salinidade sobre as plantas e o solo.....	21
3.5 - Efeito da salinidade sobre a transpiração das culturas.....	25
3.6 - Ajustamento osmótico das culturas.....	26
3.7 - Qualidade da água para irrigação.....	29
3.8 - Evapotranspiração.....	32
3.9 - Estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc).....	35
3.10 - Estimativa da ETc pelo método do lisímetro de drenagem.....	38
3.11 - Coeficiente de cultura.....	40
4 - MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.1 - Local do experimento.....	43
4.2 - Delineamento experimental e tratamentos.....	43
4.3 - Descrição do sistema de lisimetria.....	44
4.4 - Caracterização do solo e água.....	45
4.5 - Condução do Experimento.....	46
4.6 - Eficiência de uso de água.....	47
4.7 - Determinação da evapotranspiração de referência (ETo) do lisímetro de grama..	49
4.8 - Determinação da evapotranspiração da cultura (ETc).....	50
4.9 - Determinação do coeficiente da cultura (Kc).....	50
4.10 - Comparação da ETo: lisímetro de grama e Hargreaves-Samani.....	50

4.11 - Variáveis analisadas.....	51
4.12 - Variáveis estatísticas.....	51
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
5.1 - Variáveis do balanço hídrico.....	52
5.1.1 - Consumo de água e evapotranspiração da cultura.....	52
5.1.2 - Estimativa da evapotranspiração de referência (ET _o).....	57
5.1.3 - Evapotranspiração de cultura (ET _c).....	59
5.1.4 - Coeficiente de cultivo da mamoneira (K _c), BRS Energia.....	61
5.1.5 - Rendimento da cultivar e o uso eficiente da água.....	63
6 – CONCLUSÕES.....	66
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Representação esquemática de um lisímetro de percolação.....	39
Figura 4.1	Localização do município de Senhor do Bonfim – Estado da Bahia.....	43
Figura 4.2	Croqui da área experimental.....	44
Figura 4.3	Disposição dos lisímetros em campo.....	45
Figura 4.4	Irrigação dos lisímetros.....	48
Figura 4.5	Curva característica de retenção de umidade do solo.....	48
Figura 4.6	Lisímetro de grama.....	49
Figura 5.1	Dados da temperatura e precipitação durante o experimento.....	52
Figura 5.2	Consumo total de água pela mamona BRS Energia nos sete tratamentos	57
Figura 5.3	Estimativa da evapotranspiração de referência (ET _o):medida e estimada	58
Figura 5.3a	Valores da evapotranspiração de referência (ET _o) da mamona BRS energia estimado e medido.....	58
Figura 5.3b	Estimativas da evapotranspiração de referência (ET _o) da mamona BRS energia.....	59
Figura 5.4	Diferentes fases da mamona BRS energia em função dos diferentes níveis de salinidade.....	61
Figura 5.5	Comportamento do coeficiente de cultivo médio (K _c), da mamona BRS energia em função dos diferentes níveis de salinidade, desde a emergência aos 79 DAE.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Coeficiente de cultivo (K_c) correspondente à cultura da mamona, em diferentes fases de desenvolvimento.....	41
Tabela 4.1	Características químicas do material de solo coletado, no interior dos Lisímetros de drenagem, nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm.....	46
Tabela 4.2	Características físicas do material de solo coletado, no interior dos lisímetros de drenagem, nas profundidades de 0 – 20 e 20 - 40 cm.....	46
Tabela 5.1	Volume de água aplicado (V_{ap}) e drenado (V_{ad}) por tratamento e consumo de água pelas plantas, durante a emergência e aos 15 DAE.....	52
Tabela 5.2	Volume de água aplicado (V_{ap}) e drenado por tratamento e consumo de água pelas plantas aos 30 DAE e 45 DAE.....	53
Tabela 5.3	Volume de água aplicado (V_{ap}) e drenado (V_{ad}) por tratamento e consumo de água pelas plantas aos 60 DAE e 79 DAE.....	54
Tabela 5.4	Consumo total de água pela mamona nos sete tratamentos desde a emergência até os 79 DAE.....	55
Tabela 5.5	Evapotranspiração da cultura da mamoneira do plantio à emergência aos 15, 30, 45, 60 e 79 DAE em função de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação.....	59
Tabela 5.6	Coeficiente de cultivo da mamoneira BRS energia do plantio à emergência, aos 15, 30, 45, 60 e 79 DAE em função da salinidade da água de irrigação.....	61
Tabela 5.7	Rendimento da mamona em casca e em semente e eficiência do uso da água na cultura da mamoneira em função da salinidade da água de irrigação.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- Ψ_T – potencial total da água no solo, cm
- Ψ_p – componente de pressão do potencial da água no solo, cm
- Ψ_g – componente gravitacional do potencial da água no solo, cm
- Ψ_{os} – componente osmótica do potencial da água no solo, cm
- Ψ_m – componente matricial do potencial da água no solo, cm
- CEes – Condutividade elétrica do estrato de saturação
- dSm^{-1} – DeciSiemens por metro
- $mg L^{-1}$ – miligramas por litro
- ppm – parte por milhão
- PST – percentagem de sódio trocável no solo
- ETc – Evapotranspiração da cultura, $mm d^{-1}$
- ETo – Evapotranspiração de referência, $mm d^{-1}$
- P – Precipitação pluviométrica, mm
- I – Irrigação, L (litros)
- Vap – Volume de água aplicado, L
- Vad – Volume de água drenada, L
- R – Escoamento superficial da água, mm
- ΔA – Variação da água armazenada no solo, mm
- Kc – Coeficiente de Cultura
- CA – Consumo de água, L
- S – Área de exposição do lisímetro da grama para o diâmetro de 1,5 m ($1,767m^2$)
- TR – Turno de rega, dia
- P_e – Precipitação efetiva, mm
- Ra – Radiação extraterrestre, $mm d^{-1}$
- $T_{m\acute{a}x}$ – Temperatura máxima, °C
- $T_{m\acute{i}n}$ – Temperatura mínima, °C
- T_{med} – Temperatura média, °C
- DAE – Dias após a emergência

RESUMO

A mamoneira (*Ricinus communis L.*) é uma oleaginosa pertencente à família Euphorbiaceae, com origem central na Etiópia, normalmente é cultivada em regime de sequeiro, sendo uma cultura relevante para a diversificação da agricultura familiar e importante alternativa para impulsionar o desenvolvimento da região nordeste do Brasil. O experimento foi conduzido no Instituto Federal Baiano, na área experimental de irrigação e drenagem do Campus de Senhor do Bonfim e teve como objetivo avaliar o consumo hídrico da cultura da mamona, cultivar BRS Energia, irrigada com água de diferentes níveis de salinidade. O ciclo médio da cultivar utilizada é de 120 dias e o experimento teve início em setembro de 2008 e terminou em janeiro de 2009. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 21 unidades experimentais. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada pelo método do lisímetro de grama e os dados obtidos foram comparados com os dados estimados pelo método empírico de Hargreaves-Samani e a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada pelo método do balanço hídrico. Foram também obtidos para a cultivar BRS Energia o coeficiente de cultivo (K_c), o rendimento e o uso eficiente da água. Se utilizou do programa estatístico STAT para análise dos dados e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade. Os valores médios diários da ET_o medidos durante o ciclo pelo lisímetro de grama e estimado pelo método de Hargreaves-Samani foi de 5,5 mm e de 4,4 mm, respectivamente. O valor médio do K_c desde a semeadura até os 79 DAE, foi de 1,11. Observou-se que o consumo total de água da cultura foi diminuindo gradativamente conforme os níveis de salinidade utilizados e a maior redução foi identificada na água com CE_a de 4,8 dS m⁻¹. O uso eficiente de água no ciclo da cultura não foi alterado em consequência do volume de água aplicado nos tratamentos estar diretamente relacionado com o próprio rendimento da cultura, ou seja; para o tratamento em que se utilizou água de abastecimento (testemunha), a cultura utilizou maior quantidade de água para obter maior produção, vez que a planta teve maior crescimento e melhor desenvolvimento quando comparada com as que foram irrigadas com os diferentes níveis de salinidade, ou seja; apresentaram menor crescimento e desenvolvimento, indicando baixo consumo da água.

Palavras-chave: Balanço hídrico, evapotranspiração, mamona, coeficiente de cultivo.

ABSTRACT

The castor-oil plant (*Ricinus communis L.*) is an oleaginous species which belongs to the Euphorbiaceae family. It is originated from Ethiopia and is normally cultivated under rain-fed conditions, which is relevant to the diversification of family agriculture and it is an important alternative to the progress of Brazil's northeast region. The experiment was conducted at Bahia's Federal Institute, inside the area for experiments on irrigation and drainage at the Senhor do Bonfim Campus. The objective of this work was to evaluate the water use in the castor-oil seed crop, BRS energy, irrigated with water containing different levels of salinity. The average crop cycle used was of 120 days, and the experiment began in September 2008 and ended in January 2009. The experimental design was composed of three repetitions, with a total of 21 experimental units. The reference evapotranspiration (ET_o) was determined through the grass lysimeter method and the collected data were compared with the estimated data, through the Hargreaves-Samani empirical method. The crop evapotranspiration (ET_c) was measured through the water balance method. It was also obtained to the BRS energy the crop coefficient (K_c), the production and the water efficient use. It was used the statistical software (STAT) for the data analysis and the treatment average were compared to the Turkey test with 5% of probability. The daily average values of the ET_o which were measured during the cycle by means of the grass lysimeter, and estimated through the Hargreaves-Samani method, was 5.5 mm and 4.4 mm respectively. The average value of K_c, from the moment of sowing until the 79 DAE, was 1.11. It was observed that the total crop water consumption was gradually lowered according to the salinity levels used, and the largest reduction was identified in the water with a CE_a of 4.8 dS m⁻¹. The efficient use of water in the crop cycle was not altered on account of the fact that the amount of water used in the treatment was directly related to the crop efficiency itself. In other words, for the treatment in which a water supply (the witness) was used, the crop utilized a larger amount of water in order to yield more, since the plant showed a better growth and development when compared with the ones which were irrigated with water containing different levels of salinity, that is, they showed lesser growth and development, indicating low use of water.

Keywords: Water balance, evapotranspiration, castor-oil seed, crop coefficient.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da mamona (*Ricinus communis* L.) lidera as discussões sobre o meio rural, fato que se deve ao seu uso promissor no Programa Nacional de Biodiesel, do Governo Federal, um dos seus programas prioritários. Acredita-se que a referida cultura possa dar importante contribuição para aumentar a geração de emprego e renda no semiárido nordestino, ressaltando-se a massiva participação do agricultor familiar neste processo. Embora a produção dos grãos de mamona seja a atividade que gerará maior número de postos de trabalho, a extração do óleo também é de grande relevância para o setor e o principal objetivo daqueles que exploram a cultura da mamona; na semente, seu teor varia de 35% a 55%, sendo o padrão comercial 44% (Freire et al., 2006).

O Programa Nacional do Biodiesel ganhou força em 2007 devido à criação de demanda real pelo produto em virtude principalmente dos instrumentos normativos editados pelo Governo Federal. O marco regulatório para o setor que autoriza o uso comercial do biodiesel no Brasil considera a diversidade de oleaginosas disponíveis no País e garante o suprimento, a qualidade e a competitividade frente aos demais combustíveis, além de uma política de inclusão social. O óleo da mamona possui inúmeras aplicações na área industrial com perspectiva de utilização como fonte energética na produção de biocombustível (Severino et al., 2005). Este produto não é comestível e é o único glicerídeo com alta solubilidade em álcool (Freire, 2001). Em cultivares comerciais constitui, em média, cerca de 48% de óleo (Melhorança & Staut, 2005).

De acordo com Santos et al. (2005) a produção agrícola desconcentra renda mais intensamente que a extração de petróleo ou gás podendo tornar o Brasil um paradigma mundial de como enfrentar três grandes desafios do século XXI, com uma única política pública através do incentivo à agricultura de energia, enfrentar os desafios da produção de energia sustentável, da proteção ambiental e da geração de emprego e renda, com distribuição mais equitativa. A mamoneira é uma planta que necessita ser cultivada em solos muito férteis para que atinja boa produtividade, mas o conhecimento científico sobre o uso de fertilizantes em solos com essa cultura é incipiente e carece de aperfeiçoamento e adaptação a diferentes regiões (Severino et al., 2006).

A mamona, espécie da família *Euphorbiaceae*, tem potencial de exploração econômica no Nordeste brasileiro em virtude das suas características de xerofilismo e heliofilismo; sua importância para a região se baseia também no fato de ser fixadora de mão-de-obra e geradora de emprego, importante alternativa para a condução da agricultura em regiões semiáridas

(Azevedo & Lima, 2001). Apesar de se tratar de uma xerófita, as maiores produções são obtidas em locais com pluviosidade entre 600 e 700 mm, com maior exigência no início da fase vegetativa (Beltrão et al., 2002).

O uso da água salina na irrigação deve ser considerado uma alternativa importante na utilização dos recursos naturais escassos como a água, Rhoades et al. (2000). Neste sentido, deve-se garantir o uso racional através de um manejo adequado. Nas regiões áridas e semiáridas a salinização decorre da natureza física e química dos solos, do regime pluvial e da alta evaporação. Naturalmente, o uso da irrigação acarreta a incorporação de sais ao perfil do solo haja vista que a água contém sais solúveis e seu uso constante na ausência de lixiviação faz com que o sal se deposite na zona do sistema radicular, devido às elevadas taxas de evaporação. Márcio et al., (2003) verificaram, em trabalho com irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro diminuição da salinidade do solo para o tratamento $0,1 \text{ dS m}^{-1}$, nas diferentes datas de análise do extrato; para os demais tratamentos, ocorreu um aumento significativo na salinidade: 116,98%, 195,10%, 565,84% e 955,17% para os níveis 1,0; 2,5; 4,0 e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Houve queda acentuada de produção com níveis crescentes de salinidade do solo. O aumento da salinidade da água promoveu um acréscimo linear na condutividade elétrica do solo e no potencial osmótico.

Para Bernardo et al. (2006) a principal causa do aumento da salinização dos solos agrícolas está associada às irrigações malconduzidas e ao manejo incorreto da adubação. As opções que se destacam para evitar a salinização dos solos irrigados ou cultivar solos já salinizados são: realizar drenagem adequada, lixiviar o excesso de sais, utilizar culturas mais tolerantes, adotar métodos de irrigação adequados às condições de salinidade do solo e da água de irrigação; já com relação aos problemas causados pela salinização pode-se citar: diminuição do potencial osmótico da solução do solo diminuindo sua disponibilidade de água, dispersão das partículas do solo diminuindo a capacidade de infiltração e causando problemas de toxicidade às plantas, problemas estes resultarão no decréscimo da produção agrícola de qualquer solo.

Dentro deste contexto o conhecimento da demanda hídrica da cultura da mamoneira adquire suma importância, principalmente se vai ser irrigada com água salina.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar o consumo hídrico da cultura da mamoneira cultivar BRS Energia, irrigada com água salina no semiárido brasileiro, ao longo do seu crescimento e desenvolvimento, em função de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação utilizada.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar o coeficiente de cultivo (K_c) da cultura da mamoneira, cultivar BRS Energia.
- Analisar a eficiência do uso da água pela cultura da mamona, cultivar BRS Energia, irrigada com água salina.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - A Cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L.)

A mamoneira pertence à classe Dicotiledoneae, série Geraniales, família Euphorbiaceae e espécie (*Ricinus communis* L.), de origem tropical, com ampla adaptação e distribuição ao redor do mundo; seu centro de origem é a Etiópia, antiga Abissínia, leste da África, embora existam centros secundários de diversidade (Weiss, 2000). É uma planta de hábito arbustivo, com diversas colorações de caule, folhas e racemos; os frutos possuem espinho e não oferecem resistência mecânica; as sementes apresentam diferentes tamanhos, formatos e grande variabilidade de coloração sendo, por tanto uma fonte praticamente pura de ácido ricinoléico (Beltrão et al., 2001). Segundo Freire (2001), a ricinoquímica é responsável pela produção de mais de 400 subprodutos, como plásticos, fibras sintéticas, tintas, esmaltes e lubrificantes, além de servir de matéria-prima na produção de próteses em substituição à platina, com custo reduzido, cimento ósseo, ação fungicida e bactericida. Por outro lado, do fruto se obtém a torta de mamona, que é utilizada como adubo orgânico e condicionante do solo e, caso seja tornada atóxica, servirá de fonte protéica para ração animal (Beltrão et al., 2001). A cultura foi trazida para o Brasil pelos portugueses, durante a colonização, e apresenta alto potencial para a produção de óleo, o qual tem diversas aplicações na indústria química e farmacêutica, sendo também matéria – prima para a produção do biodiesel (Savy Filho, 2005).

O subproduto torta, que pode ser utilizado como adubo orgânico, tem ação nematocida e fungicida, pois apresenta todos os macro e micronutrientes, alto teor de matéria orgânica e nitrogênio (Silva et al., 2007). A grande alavanca da produção de mamona se deu na Bahia a partir do lançamento do Protocolo da Mamona no ano 2000 (Santos et al., 2001), numa iniciativa conjunta com o Banco do Nordeste e uma indústria local beneficiadora de óleo. A indústria garantia a compra da produção diretamente dos produtores, pagando preços definidos pelo mercado, mediante contrato previamente assinado. No momento em que as pesquisas se intensificaram na transformação de óleos vegetais e animais em biodiesel, recebendo forte apoio do governo federal, que lançou o Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel (PNBP) no ano de 2004, a mamona começou a ser altamente cotada como uma das fontes de matéria-prima para a extração do biodiesel. A razão disto é que, além de ser uma das espécies com maior teor de óleo, é também uma cultura de relevância social, pelo emprego intensivo de mão-de-obra no campo e permitir o consórcio com outras culturas,

como feijão, amendoim ou milho. A mamona é considerada um cash crop, que permite a geração de um produto comercializável, com mercado líquido favorecendo o acesso do produtor a insumos agrícolas e a bens de consumo familiar (Peres et al., 2005).

Até o ano de 1981, o Brasil se colocava na condição de primeiro produtor mundial com uma produção de 281 mil toneladas e uma área plantada de 479 mil hectares porém, a área plantada reduziu drasticamente (retração de 88%); esta perda da competitividade do Brasil no mercado mundial de mamona é explicada pela consequência do baixo preço pago ao produtor e das baixas produtividades, reflexo do baixo nível tecnológico empregado na cultura (Silva et al., 2007). O país maior produtor de mamona é a Índia, com 804 mil toneladas, seguida da China (275 mil toneladas). O Brasil ocupa o terceiro lugar, com média de produção de 149,1 mil toneladas. Historicamente, esses três países respondem por cerca de 90% da produção mundial, algo em torno de 1,4 milhões de toneladas (FAO, 2009). Recentemente a implantação do Programa Nacional de Biodiesel ampliou o mercado de óleos vegetais e a política de incentivos fiscais ao biodiesel produzido a partir de matéria – prima oriunda da agricultura familiar, proporcionando aumento nos investimentos de empresas e produtores nesta cultura.

Com o fortalecimento do Programa Nacional do Biodiesel, estima-se que mais de 50% de nossa energia deverão ser provenientes de fontes renováveis, em futuro próximo. Uma dessas procedências energéticas é representada pelas oleaginosas (Pereira, 2007). Contudo, o maior atrativo da cultura da mamona é o alto valor do óleo no mercado internacional. No segundo semestre de 2007 a cotação do óleo de mamona registrou aumento de 21%, encerrando o ano cotado a R\$4.200,00 a tonelada (Revista Biodiesel, 2007). Na safra 2006/07 a área plantada no Brasil foi de 153.241 ha e a produção foi de 87.071 toneladas de mamona em baga e as estimativas para a safra 2007/08 são de 179.464 ha, incremento de 17,1%, e uma produção de 156.099 toneladas, incremento de 53,2% (IBGE, 2008).

A BRS Energia é uma cultivar de mamona desenvolvida em rede pela EMBRAPA, EBDA e EMPARN e lançada em 2007. É uma cultivar precoce com ciclo médio de 120 dias, apresenta porte baixo, em torno de 1,40 m, caule verde com cera, cachos cônicos com tamanho médio de 60 cm, frutos verdes com cera e indeiscentes; as sementes pesam entre 0,40 e 0,53 g com as cores marrom e bege, contendo 48% de óleo e produtividade média em torno de 1.800 kg ha⁻¹. Os espaçamentos recomendados em condições de monocultivos são de 1,0 x 1,0 m e 0,70 x 0,40 m.

Para Carvalho et al. (2000) o conhecimento potencial do consumo de água das culturas pode possibilitar o uso da relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração máxima

para estabelecer curvas de resposta; fornecem, também, subsídios para a irrigação, zoneamento agroclimático, planejamento racional da cultura irrigada para previsão de rendimentos e avaliar a viabilidade econômica, ou seja, se para uma condição em que se deseja uma relação maior, avaliar se o incremento de rendimento supera o investimento para alcançá-lo, para o que se faz necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água a ela fornecidas, as etapas de seu desenvolvimento de maior consumo de água e os períodos críticos, quando a falta ou excesso redundaria em quedas de produção.

3.2 - Balanço hídrico

Segundo Sales (2002), a região Nordeste do Brasil compreende uma área de 1.556 mil km² e se caracteriza, do ponto de vista geoambiental, pela diversidade de suas paisagens tendo como elemento marcante no quadro natural da região a condição de semiárido de caráter azonal, que atinge grande parte do seu território, e a alta variabilidade pluviométrica espacial e temporal inerente a esse tipo climático. A ocupação dessa região sempre ocorreu em uma perspectiva de exploração excessiva levando, inclusive, à exaustão de parte dos recursos naturais. Deve-se considerar ainda, que, aliada a essa exploração predatória, estabeleceu-se uma estrutura social concentradora de renda e de poder, responsável pela relativa estagnação e baixos índices socioeconômicos registrados na região. A disponibilidade dos recursos naturais reflete diretamente as condições geoambientais diversas que constituem a região. As atividades econômicas desenvolvidas no sertão giraram por muito tempo em torno do binômio gado-algodão e da agricultura de subsistência desenvolvida em solos aluviais. As limitações naturais nessas áreas ficam por conta principalmente da instabilidade climática, gerando problemas de disponibilidade hídrica que compromete todo o sistema produtivo visto que o semiárido nordestino é caracterizado pelo balanço hídrico negativo resultante, segundo técnicos da SUDENE (1996), de precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2800 h/ano, temperaturas médias anuais de 23°C, evaporação de 2000 mm/ano e umidade relativa do ar média em torno de 50% tendo-se assim, poucas opções agrícolas rentáveis que sustentem os produtores nas áreas rurais.

A agricultura de subsistência (geralmente milho e feijão) é a atividade econômica mais importante nesta região e a disponibilidade de água é o principal obstáculo para a produção agrícola. A área inclui uma grande variedade de sistemas agrícolas resultantes de diferentes solos, topografias e padrões de chuva. Atualmente, as culturas de subsistência são em geral

estabelecidas em baixios (várzeas), com semeadura após as primeiras chuvas; muitas vezes, esta semeadura é perdida quando as plântulas morrem por falta de água devido à distribuição irregular da chuva e à ausência de água armazenada no perfil do solo; neste sentido e acordo com estudo elaborado por Antonino et al. (2000), em plantios de milho e feijão, em um experimento em Coxixola, PB, com a finalidade de determinar o balanço hídrico desses cultivos, esses autores obtiveram, em seus resultados, que a pequena precipitação pluviométrica durante o experimento (212,5 mm) e sua distribuição irregular, concentrada nos primeiros dois meses, causaram restrição hídrica na fase final do experimento e foram responsáveis pelas baixas produtividades e baixas eficiências de uso de água das culturas.

Apesar da importância da disponibilidade hídrica na região semiárida, são raras as pesquisas sobre balanço hídrico do solo e a maior parte foi feita com irrigação; do mesmo modo, o conhecimento do balanço hídrico para determinada região é de extrema relevância, haja que este fornece a contabilização da água do solo, resultante da aplicação do princípio de conservação de massa em um volume de solo vegetado (Pereira et al., 2002). Em condições irrigadas foram medidos a evapotranspiração e os balanços hídricos de solos cultivados com capim buffel em Sumé, na Paraíba (Dantas Neto et al., 1996). Segundo Cintra et al. (2000), em trabalho realizado em Campo Experimental de Umbaúba, da Embrapa, na região Sul do Estado de Sergipe, com as culturas de Tangerina Cleópatra e o Limão Cravo, com base na taxa de evapotranspiração apresentada pelos porta-enxertos nos estádios fenológicos de grande demanda hídrica, é possível concluir que a Tangerina Cleópatra é o porta-enxerto menos adaptado e o Limão Cravo o que apresenta as melhores características de adaptação na área estudada, quanto a esta característica.

O conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas se constitui em um aspecto importante na agricultura irrigada a fim de que haja uma programação adequada de manejo de irrigação e, para isto, existem várias metodologias e critérios para estabelecer programas de irrigação que vão desde simples turnos de rega aos completos esquemas de integração do sistema solo água-planta-atmosfera. A determinação do consumo hídrico por meio da estimativa da evapotranspiração, é de fundamental importância para o correto manejo da irrigação (Silva & Folegatti, 2001). O balanço hídrico nada mais é do que a contabilização da água do solo, ou seja, uma forma de medir a quantidade de água que entra e sai deste solo. As entradas são representadas pela precipitação, irrigação, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral e ascensão capilar e as saídas ou perdas representadas pela evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda, (Sentelhas, Pereira & Angelocci, 1999).

Reconhece-se, entretanto que, ao agricultor devem ser fornecidas técnicas simples, mas com precisão suficiente para possibilitarem, no campo, a determinação criteriosa do momento e da quantidade de água a ser aplicada já que a identificação da evapotranspiração real (ETr), variável muito importante do balanço hídrico, contribui para melhorar a eficiência no manejo da água de irrigação e, conseqüentemente, evitar que se coloque, à disposição da cultura, água em excesso ou em déficit, mas para Pereira & Allen (1997), a medida direta da evapotranspiração é extremamente difícil e onerosa; difícil, porque exige instalações e equipamentos especiais e onerosos, porque tais estruturas são de alto custo, justificando-se apenas em condições experimentais.

3.3 - Salinidade

A água é essencial para os seres vivos e fator de fundamental importância para a produção de alimentos, em especial sob condições de irrigação; o importante é que se deve destacar a qualidade desse produto tão essencial, pois é de conhecimento geral que a irrigação já vem sendo praticada há muitos anos; registros históricos comprovam ter sido a irrigação a base econômica de muitas civilizações ancestrais do oriente e do ocidente. (Barreto & Silva, 2004). A irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas, onde e quando as chuvas, ou qualquer outra forma natural de fornecimento, não são suficientes pra suprir as necessidades hídricas da planta (Gomes, 1997).

Porém, mesmo sendo a irrigação praticada há vários milênios, a importância da qualidade da água só começou a ser reconhecida a partir do início deste século (Wilcox & Durum; Shainberg & Oster; Araguez & Lafarga; citados por Holanda & Amorim, 1997). O aspecto da qualidade era desprezado devido ao fato de que, no passado, as fontes de água eram, em geral, abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização (Ayers e Westcot, 1999). De acordo com (Simeonov et al., 2003), isso tem mudado em virtude principalmente de influências antropogênicas (atividades agrícolas, industriais e urbanas, aumento do uso consuntivo da água) e de processos naturais (mudanças nos valores de precipitação, erosão, intemperização de materiais da crosta) que degradam as águas de superfície e impedem seu uso para consumo humano, industrial, agrícola, recreativo ou outras finalidades.

Segundo (Noaman & EL-Haddad, 2000; Zeng et al., 2001), devido à pressão antrópica por águas de boa qualidade e a crescente necessidade de expansão da produção agrícola em todo o mundo, tem aumentado a utilização de águas consideradas de qualidade inferior na irrigação, como as águas salinas; neste contexto, a agricultura irrigada tem alcançado grande

expressividade no setor produtivo mundial, com uma área irrigada no mundo em torno de 260 milhões de hectares, correspondente a 17% da área cultivada e respondendo por 40% da produção total de alimentos (Barreto & Silva, 2004). Entretanto, ao longo do tempo as áreas irrigadas vêm enfrentando problemas decorrentes do excesso de sais no solo.

Estimativas apontam que, da área cultivada na superfície do globo (1,5 x 10⁹ ha), 23% das terras são salinas e 37% são sódicas, encontrando-se distribuídas por todos os continentes (Tanji, 1990). Dentre os fatores determinantes da salinização do solo estão o clima árido e/ou semiárido, a má drenagem, o lençol freático alto, a baixa permeabilidade do solo, o manejo inadequado da irrigação, os minerais primários e adubações químicas contínuas e malconduzidas em solos irrigados (Souza et al., 2001), além das atividades antropicas que se destacam como forte potencial para causar problemas, em razão da sistemática adição ao solo dos sais contidos na água. Holanda & Amorim (1997) reforçam a idéia anterior, ao constatarem que 70% das águas avaliadas em Estados do Nordeste Brasileiro foram considerados de boa qualidade para irrigação, apresentando níveis de salinidade entre baixo e médio. Audry & Suassuna (1995), destacam que no Nordeste a maior parte das águas utilizadas na irrigação contém teores relativamente moderados de sais sendo frequentemente encontrados valores que chegam a 5,0 dS m⁻¹ e acrescentam, ainda, que o uso inadequado da irrigação em áreas semiáridas, predominantes no Nordeste Brasileiro, tem ocasionado salinização de solos e sérios problemas para a agricultura irrigada.

Embora a irrigação seja uma das alternativas para o aumento da produtividade nesta região, deve-se considerar que esta técnica, quando utilizada inadequadamente, tem gerado vários problemas ambientais, tal é o caso da salinização do solo que pode provocar grave redução no desenvolvimento e na produtividade das culturas. Em suma, deve-se ressaltar que, mesmo sendo de fundamental importância, a qualidade da água de irrigação não deve ser fator limitante ao uso agrícola, pois, além das características próprias da água, o clima, o tipo de solo e as práticas de manejo, influenciam a adequabilidade da água de irrigação (Gheyi et al., 2004).

Consequentemente, a adoção da técnica de irrigação nas regiões áridas e semiáridas do globo tem contribuído para o aumento das taxas de evapotranspiração, o que vem contribuindo para a salinização dessas áreas, principalmente naquelas que apresentam drenagem deficiente. Nas regiões de baixa precipitação pluvial a lavagem dos sais deve ser realizada, como forma de manter a salinidade do solo em um nível aceitável. Já em regiões nas quais a precipitação é relativamente alta sua ocorrência durante a estação chuvosa pode assegurar a lavagem dos sais (Ben-Hur, 2001; Andrade et al., 2004).

Segundo Bernardo (1995), a qualidade da água para irrigação nem sempre é definida com perfeição visto que, muitas vezes, citada com título de qualidade de água, refere-se à salinidade; com relação à qualidade de sólidos dissolvidos, expressa em miligramas por litro (mg L^{-1}), parte por milhão (ppm) ou por meio de condutividade elétrica do estrato de saturação (CEes) em deciSiemens por metro (dS m^{-1}), porém para fazer a interpretação correta da qualidade da água para irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados aos seus efeitos no solo e na cultura ou compensar os problemas relacionados à qualidade da água.

Quanto às características que determinam a qualidade da água para irrigação, a água deve, de modo geral, ser analisada com relação a cinco parâmetros básicos:

1. Concentração total de sais (salinidade)
2. Proporção relativa de sódio em relação a outros cátions (sodicidade)
3. Concentração de elementos tóxicos
4. Concentração de carbonatos e bicarbonatos
5. Aspectos sanitários

O efeito principal da salinidade é de natureza osmótica, podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade se refere ao efeito do sódio na água de irrigação que tende a elevar a percentagem de sódio trocável no solo (PST) e altera suas propriedades físico-químicas, provocando problemas de infiltração, enquanto a toxicidade diz respeito ao efeito específico de certos íons sobre as plantas, afetando o rendimento, independente do efeito osmótico. Em alguns casos o efeito iônico pode manifestar-se na forma de desequilíbrio nutricional (Holanda & Amorin, 1997).

3.4 - Efeito da salinidade sobre o solo e as plantas

Os problemas de salinidade do solo são decorrentes sobretudo das altas taxas de evaporação e da baixa precipitação pluviométrica, aliados ao manejo inadequado da água de irrigação (Oliveira et al., 2002). Segundo Ayers & Westcot (1999) o fato que mais agravou os problemas de salinidade dos solos pela água de irrigação foi o uso indiscriminado das fontes de água, sem que se levasse em consideração a qualidade da água que estava sendo usada. De acordo com Silva Filho et al. (2000) e D'Almeida et al. (2005) a salinização do solo está ligada também às características físico-químicas do solo em seu estado natural e das técnicas de manejo a ele aplicadas visto que é comum o surgimento da salinidade em áreas irrigadas cujas técnicas de manejo não visam à conservação da capacidade produtiva dos solos e onde

há uso excessivo de fertilizantes. Por outro lado, o uso de água salina na irrigação de algumas regiões, mais notadamente no Nordeste, é uma alternativa importante para incremento da área irrigada e das produções das culturas (Ferreira Neto et al., 2002). No entanto, essas águas podem representar risco para a produção agrícola das culturas já que, em certos casos, essas águas promovem alterações nas condições físico-químicas iniciais do solo (Alencar et al., 2003; Viana et al., 2001; Amorim et al., 2002).

O excesso de sais solúveis na solução do solo prejudica o desenvolvimento das plantas devido à diminuição do potencial osmótico que, juntamente com o potencial mátrico, forma, em seu conjunto, todas as forças que as raízes das plantas desenvolvem para poder vencer a absorção de água do solo, o aumento da pressão osmótica pode atingir um valor tal que as plantas não terão força de sucção suficiente para superar esse potencial e, conseqüentemente, não absorverão água, mesmo em solo aparentemente úmido, fenômeno conhecido por “seca fisiológica” (Medeiros et al., 1997). Segundo Araújo et al. (2000), o contato das raízes com o meio adversamente salino contribui para a maior e mais rápida absorção de sais que provoca falência em todos os órgãos das plantas, inclusive ao caule. A salinização pode ser provocada não apenas pela presença de sais na água usada para irrigação como, também, por deficiência na drenagem da área. Em áreas nas quais o solo já está salinizado, a recuperação é um processo muito caro e raramente viável e, para aproveitamento dessas áreas, faz-se necessário o desenvolvimento de genótipos mais tolerantes a salinidade, o que viabiliza sua exploração em solo salino.

De acordo com Viana et al. (2001), a salinização leva ao desbalanço nutricional uma vez que o excesso de sais (Na e Cl) na solução do solo leva a um distúrbio na absorção de nutrientes, alterando as concentrações de nutrientes, como Ca, K, Na, e Mg na planta. Esta desordem nutricional pode levar a um desenvolvimento abaixo do normal, o que é afetado, em grande parte, pelos processos metabólicos da planta. Normalmente, a toxicidade é provocada pelos íons cloreto, sódio e boro; entretanto, muitos outros oligoelementos são tóxicos para as plantas, mesmo em pequenas concentrações, só que os danos da salinidade devidos à toxicidade podem reduzir significativamente o rendimento das culturas estando sua magnitude à mercê do tempo, da concentração de íons, da tolerância das plantas e do uso da água pelas culturas. Os problemas de toxicidade frequentemente acompanham ou potencializam os de salinidade ou de permeabilidade, passíveis de surgir mesmo em baixa salinidade. Os sintomas de toxicidade podem surgir em qualquer cultura desde que as concentrações de sais no interior da planta sejam suficientemente altas ou acima de seus níveis de tolerância.

As forças de absorção das plantas atuam em toda a profundidade radicular e extraem a água de onde a encontram mais facilmente disponível. Em geral, a menor resistência à absorção está na parte superior da zona radicular, parte frequentemente molhada por chuvas ou por irrigações e por ela passa a maior quantidade da água, sendo melhor lixiviada e menos afetada pela salinidade que as partes mais profundas. Todo e qualquer tipo de água de irrigação, independente de ser constituída de um complexo salino também chamado mistura de sais, como nos mananciais de superfície e subterrâneos ou de uma fonte específica preparada em laboratório, transporta sais ao solo (Cavalcante et al., 2003b). Os efeitos dos sais nas plantas se manifestam em razão não apenas da diminuição do potencial hídrico da água no solo, tornando-a menos disponível para as plantas, mas também do desequilíbrio nutricional e da toxicidade por íons específicos.

A salinidade da água do solo gera o estresse osmótico nas células das plantas, ou seja, um efeito físico, enquanto concentrações elevadas de certos íons específicos tóxicos, como sódio, boro e cloreto, proporcionam efeito químico (Ferreira, 2001). Sem dúvida, o monitoramento e a adoção de tecnologias que venham a minimizar os problemas dos sais nos solos e nas plantas, principalmente em regiões áridas e semiáridas, são de expressiva importância para a vida útil do solo e viabilidade econômica das culturas uma vez que, segundo Stone & Moreira (2001), o plantio direto com cobertura morta adequada propicia maior economia de água em comparação com os demais sistemas de preparo do solo e, no decorrer dos anos, melhora nas características físicas do solo.

O processo de salinização do solo tem origem na sua própria formação, isto é, oriundo da intemperização da rocha matriz e envolve processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação dos fatores de clima, relevo, organismos vivos e tempo. Durante a intemperização os diversos constituintes das rochas são liberados na forma de compostos simples; as fontes dos sais solúveis em água são os minerais primários que se encontram no solo e nas rochas da crosta terrestre (Santos, 2000). Conforme Queiroz et al., (1997) as três principais fontes naturais de sais no solo são o intemperismo mineral, a precipitação atmosférica e os sais fósseis (aqueles remanescentes dos ambientes marinhos e lacustres). Os sais também podem ser adicionados aos solos através de atividades humanas incluindo o uso de águas de irrigação, salmouras altamente salinas ou resíduos industriais. Embora a principal fonte de todos os sais encontrados no solo seja a intemperização das rochas, raros são os exemplos ao qual esta fonte tenha provocado, diretamente, problemas de salinidade do solo.

A ocorrência de solos salinos está associada a causas naturais e/ou à atividade humana; neste último caso, o emprego da irrigação incompatível com as características

físicas, químicas e mineralógicas do perfil do solo, tem sido apontado como uma das principais causas da sua salinização; ademais, em regiões áridas e semiáridas a baixa precipitação e a alta taxa de evaporação dificultam a lixiviação dos sais, os quais se acumulam em quantidades prejudiciais ao crescimento das plantas, agravando enormemente o problema (Fageria & Gheyi, 1997; Oliveira, 1997).

Os problemas de salinidade têm sido associados, também, à água utilizada na irrigação, à drenagem deficiente e à presença de águas subsuperficiais ricas em sais solúveis a pouca profundidade, casos em que, quando a salinização é devida à ação antrópica, ela é conhecida como salinização secundária; além disso, a salinização pode ser causada pela aplicação de fertilizantes de forma excessiva e parcelada ao longo do ciclo natural, induzindo o sistema radicular ao estresse osmótico. Dias (2004) e Oliveira (1997) citam que a salinização secundária é, em alguns casos, responsável por perdas irreparáveis da capacidade produtiva do solo, tornando estéreis grandes extensões de terras cultivadas. A salinidade induzida pelo homem é mais perceptível em ambientes de elevada taxa de evapotranspiração potencial e baixa precipitação pluviométrica no curso do ano. A salinidade induzida nessas áreas se manifesta em decorrência da irrigação praticada e onde não há o controle da drenagem ou é feito de forma inadequada (Oliveira, 1997).

No Nordeste brasileiro, característico de alta evapotranspiração e baixa precipitação, estima-se em mais de 9 milhões de hectares a área total ocupada por solos geneticamente salinos: são eles os planossolos, solonetz, solonchak e outros e especificamente na região semiárida do Nordeste as maiores incidências de áreas com salinização secundária se concentram nas terras mais intensamente cultivadas com o uso da irrigação nos chamados Perímetros Irrigados. Bernardo (1997) afirma que cerca de 30% das áreas irrigadas dos projetos públicos, no Nordeste brasileiro, estão com problemas de salinização.

Para Hillel (2000) uma alternativa para reduzir os efeitos do acúmulo de sais provocado pelo binômio irrigação-evaporação seria o fornecimento de maior quantidade de água ao solo para o carregamento dos sais, através da lixiviação; entretanto, se observa que, em áreas em que o lençol freático não seja profundo ou a infiltração lateral não é suficientemente rápida, aplicações de lâminas extras de água podem causar uma elevação progressiva do nível do lençol freático e acumulação dos sais na superfície, constituindo-se na perda do potencial produtivo; outra forma de reduzir a agressividade dos sais é proteger o solo com cobertura morta, através de restos de cultura, prática que mantém o solo mais úmido durante mais tempo em relação ao solo nu, diminui os efeitos da radiação solar sobre as perdas hídricas por evaporação em quase 30% e a temperatura na superfície do solo é

reduzida, no mínimo em 4°C, quando comparada com as áreas desprotegidas (Araujo et al., 2000; Cavalcante et al., 2001a).

3.5 - Efeito da salinidade sobre a transpiração das culturas

A transpiração é o processo fisiológico que envolve uma transferência relativamente alta de água na forma de vapor para a atmosfera, resultando em diminuição do crescimento do vegetal podendo, em alguns casos, provocar a morte. O processo da transpiração ocorre essencialmente, em duas fases: na evaporação da água para os espaços intercelulares e, em seguida na difusão da água para a atmosfera. Nos processos de fotossíntese e respiração ocorridos na folha são indispensáveis as trocas de gás carbono e oxigênio entre a folha e o ar. Esses processos são realizados principalmente por intermédio da abertura dos estômatos que permitem a difusão de vapor de água para a atmosfera (transpiração). A transferência de água por este processo representa entre 80 e 90% da transferência total de um vegetal. A abertura dos estômatos depende do grau de saturação hídrica das células estomáticas, podendo haver grande restrição da transpiração caso o déficit de água na planta seja grande.

Segundo Castilho (2000), as folhas são as fábricas em que a água o dióxido de carbono e os nutrientes, são convertidos em carboidratos na presença de luz solar. As três principais funções atribuídas às folhas são: produção de carboidratos (fotossíntese), síntese de outros compostos a partir de carboidratos e transpiração. A salinidade afeta o desempenho das plantas através de déficit de água, toxidez provocada por íons e desequilíbrio nutricional. Durante o efeito da salinidade determinados processos são modificados, tais como: síntese de proteínas, metabolismo de lipídios e fotossíntese. Uma das respostas iniciais é a redução da expansão da superfície foliar acompanhada de estresse intensivo (Wang & Nil, 2000). Este efeito promove redução nas concentrações de carboidrato, que são a base necessária para o desenvolvimento celular. Conforme (Munns, 2005, Zhu, 2002) respostas biológicas a alta salinidade em plantas têm sido mais discutidas. Esses estudos analisaram características fisiológicas, moleculares e bioquímicas das respostas complexas ao estresse salino dos organismos. Em geral, os estresses provocados pelo excesso de íons, diminuem a assimilação de CO₂, condutância estomática e transpiração das plantas (Gulzar et al., 2003)

A tolerância à salinidade de plantas é a capacidade que as plantas têm de se desenvolverem e completar seu ciclo de vida sobre um substrato que contém elevada concentração de sais solúveis (Flowers et al., 1977, Greenway & Munns, 1980). Plantas que podem tolerar essas quantidades elevadas de sais na rizosfera sem afetar seu crescimento, são

denominadas halófitas (Flowers et al., 1977). Já plantas que não conseguem desenvolver-se sobre o substrato com elevado conteúdo de sais solúveis, são as glicófitas (Cheeseman, 1988). A vantagem das halófitas sobre as glicófitas advém da melhor atuação em novos mecanismos de tolerância que proporcionam um manejo mais eficiente em acumular e compartimentar os solutos. De modo geral, as plantas tanto glicófitas quanto halófitas, não podem tolerar grandes quantidades de sal no citoplasma razão por que ocorrem em lugares com baixas concentrações de íons (Gorham et al., 1981). A entrada e a compartimentalização dos íons são decisivas não somente para o desenvolvimento da planta mas também para sua sobrevivência no ambiente salino (Adams et al., 1992), devido aos distúrbios suscitados pela salinidade na homeostase. Esses organismos restringem o excesso de íons nos vacúolos facilitando suas funções metabólicas (Zhu, 2003).

São diferentes os níveis de tolerância das plantas às concentrações letais de sais, utilizando-se de uma variedade de mecanismos entre as distintas espécies, tais como a ampliação de seus mecanismos bioquímicos e moleculares para tolerar o estresse salino através de produtos e processos alternativos da sua transpiração; referidos mecanismos atuam unidos (Iyengar & Reddy, 1996). As estratégias bioquímicas utilizadas incluem acumulação ou exclusão seletiva de íons, controle da entrada de íons pelas raízes e transporte para as folhas, compartimentalização de íons em nível celular (vacúolos) e estrutural (folhas), síntese de osmólitos, alterações nas vias fotossintéticas, modificações na estrutura de membrana, indução de enzimas antioxidantes e hormônios. As plantas sob condição de salinização limitam a entrada de Na^+ ou acumulam este íon em seus tecidos mais velhos, formando um ambiente estoque, que logo será eliminado (Warwick & Bailey, 1997, Taiz & Zeiger, 1998). Ainda que a mudança na concentração de sais da água ocasione declínio no crescimento, a contribuição de processos subsequentes, como divisão, expansão e aceleração da morte celular, não foi ainda bem elucidada (Hasegawa et al., 2000).

3.6 - Ajustamento osmótico das culturas

Os principais problemas causados pela salinização dos solos se referem à redução do potencial osmótico da solução do solo, diminuindo sua disponibilidade de água, e à toxicidade de certos íons às plantas (Rhoades et al., 2000; Munns, 2002; Bernardo et al., 2005). Os efeitos dos sais sobre as plantas podem resultar não só em dificuldade de absorção de água pelo vegetal, similares àquelas de adubação excessiva, mas, também, provocar interferência nos processos fisiológicos ou mesmo toxidez. Determinados íons, como Na^+ e Cl^- , são

passíveis de se tornarem tóxicos quando presentes na célula vegetal em demasia, danificar a membrana celular e promoverem distúrbios metabólicos, afetando a fotossíntese, respiração, metabolismo de proteínas, atividades enzimáticas e a produção de toxinas (Munns, 2002).

O excesso de sais na solução do solo afeta o desenvolvimento das plantas em virtude da diminuição do potencial osmótico que, junto com o potencial mátrico, representa a resistência que as raízes das plantas têm que vencer para absorver água do solo (Ayers & Westcot, 1999). O aumento da pressão osmótica pode atingir um nível em que as plantas não mais terão força de sucção suficiente para superar este gradiente e, conseqüentemente, não conseguirão absorver água, mesmo em um solo aparentemente úmido, fenômeno conhecido por seca fisiológica (Medeiros et al., 1997); entretanto, as plantas em meio salino podem aumentar sua concentração osmótica interna pela produção de ácidos orgânicos e açúcares, processo chamado ajustamento osmótico. De acordo com Taiz & Zeiger (2004), a planta responde ao estresse osmótico associado ao estresse hídrico, com mudanças fisiológicas, em razão da necessidade de se ajustar osmoticamente, de tal forma que o potencial de água nas células seja reduzido a um valor menor que o do solo, a fim de possibilitar a absorção de água; além disso, a planta tenta manter, em valores elevados, o potencial de turgescência.

Os estresses que acompanham o estresse salino são: osmótico, hídrico, térmico, nutricional e por toxidez. A alta concentração de sais no solo é um fator de estresse para as plantas haja vista que o componente osmótico do potencial de água no solo pode torná-la indisponível às plantas. Ademais, em ambientes salinos o potencial hídrico do solo é baixo exigindo, por tanto, um gasto maior de energia por parte da planta, a fim de absorvê-lo. Esta energia é desviada dos processos que conduzem ao crescimento e à produção (Rhoades et al., 2000).

Segundo Tanji (1990), as plantas acumulam sais nos vacúolos como forma de reduzir o potencial de água nas células e concentrações elevadas de íons tóxicos contribuem tanto para a redução no componente osmótico do potencial da água quanto na resposta das plantas à salinidade por distúrbios intrínsecos. Conforme Santos (2005), o potencial osmótico das folhas do feijoeiro cultivado com água salina ($CE = 2 \text{ dS m}^{-1}$) diminuiu significativamente sendo o modelo linear o que apresentou o melhor ajuste aos dados concluindo, também, que o potencial osmótico das folhas reduziu 0,08 MPa por unidade de dS m^{-1} acrescido na condutividade elétrica do extrato de saturação do solo mostrando, então, que o feijoeiro possui alguma capacidade de ajustamento osmótico quando cultivado em meio salino, embora seja considerado planta sensível.

O fato da área foliar diminuir com o aumento da salinidade na água de irrigação e, conseqüentemente, na solução do solo, também se relaciona com um provável mecanismo que a planta desenvolve para diminuir a transpiração. A redução da área foliar e da fotossíntese contribui, de certo modo, para a adaptação da planta à salinidade; esta redução na área foliar aumenta indiretamente a concentração total de solutos na folha contribuindo para o ajustamento osmótico, a menos que os solutos se elevem para níveis tóxicos em compartimentos celulares específicos da folha (Lauchli & Epstein, 1990).

No sistema solo-planta-atmosfera o movimento da água ocorre no sentido do local de maior potencial para o de menor potencial. O potencial da água é caracterizado por seu estado de energia, em suas diferentes formas, conforme Eq. 3.1(Reichardt, 1996):

$$\Psi_T = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_{os} \quad (3.1)$$

em que:

Ψ_T – potencial total da água no solo (cm)

Ψ_p – componente de pressão do potencial da água no solo (cm)

Ψ_g – componente gravitacional do potencial da água no solo (cm)

Ψ_{os} – componente osmótico do potencial da água no solo (cm)

Ψ_m – componente matricial do potencial da água no solo (cm)

Com base na Eq. 3.1, no caso das plantas o potencial gravitacional geralmente é desconsiderado, uma vez que o nível de referência é arbitrário e pode ser sempre considerado no mesmo nível de referência do ponto em estudo, um vacúolo, por exemplo. O componente matricial também é desprezado, sendo importante apenas em situações tais, como a água retida pelas paredes celulares, o que não compõe a área de interesse neste trabalho (Reichardt, 1996).

O potencial total da água na planta se resume aos componentes de pressão (turgescência) e ao osmótico, os quais apresentam valores entre 0,2 e 0,5 MPa e -0,2 a -1,0 MPa, respectivamente. A redução do potencial total da água no solo associada à alta demanda evapotranspirativa, provoca maior redução no potencial hídrico da planta, em seus diversos órgãos (raiz, folha, etc.) (Reichardt, 1996; Taiz & Zeiger, 2004).

3.7 - Qualidade da água para irrigação

A qualidade natural da água resulta da sua origem e dos processos físico-químicos naturais nos seus diversos percursos (Lopez, 2000). A qualidade da água de irrigação pode ser considerada fator importante, mas nunca se deve esquecer de que ela é tão somente um dos fatores e que não é possível desenvolver um sistema de classificação universal que possa ser utilizado sob todas as circunstâncias. A adequação da água para a irrigação depende de sua própria qualidade e de fatores relacionados com as condições de uso (Ayers & Westcot, 1999).

As águas superficiais e subterrâneas são originadas das precipitações, sendo que estas se constituem na fonte natural de irrigação das explorações de sequeiro. A salinidade das águas pluviais é baixa, com uma CE da ordem de $0,010 \text{ d Sm}^{-1}$ (Molle & Cadier, 1992), o que favorece a dispersão de partículas do solo, originando problemas de infiltração. A rigor, todas as águas naturais, quer sejam elas de origem pluvial, superficial (rios, lagos e açudes) ou subterrânea (poços e cacimbas), contêm sais dissolvidos em quantidades variadas (Holanda & Amorim, 1997).

Segundo Yaron (1973) citado por Blanco (1999) o teor de sais das águas superficiais é função das rochas predominantes nas nascentes, da zona climática, da natureza do solo em que a água flui e de poluições originadas da atividade humana; já no caso das águas subterrâneas o teor de sais depende da origem da água e do curso sobre o qual ela flui, em conformidade com a lei de dissolução, baseada no contato entre a água e o substrato que a armazena. As mudanças no teor de sais na água subterrânea no processo de recarga resultam da redução (geralmente de natureza bioquímica), troca catiônica, evapotranspiração e precipitação. Em geral, as águas de zonas úmidas apresentam menor teor de sais que as de zonas áridas, águas subterrâneas são mais salinas que as águas de rios e estas, próximas da foz, contêm mais sais que as próximas à nascente. A concentração de sais nas águas de rios varia com a estação do ano, sendo maior no outono que na primavera.

Em determinada região as águas contêm, naturalmente, menos sais antes do desenvolvimento de projetos de irrigação. A prática da irrigação é, em muitas situações, a única maneira de se garantir uma produção agrícola com segurança, sobretudo em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do semiárido brasileiro, onde há deficiência hídrica para as plantas pelo fato da taxa de evapotranspiração ser maior que a de precipitação, durante a maior parte do ano. Nessas áreas sem um manejo adequado da irrigação, a salinização do solo é inevitável (Holanda & Amorim, 1997).

Nas últimas décadas se estabeleceram diversas classificações de qualidade das águas para irrigação que, em geral, foram perdidas por serem muito generalistas; portanto, pouco precisas ou excessivamente restritivas, mas não extrapoláveis a outras situações. De qualquer forma comumente se consideram, nessas classificações, o efeito da salinidade expressa como condutividade elétrica do estrato de saturação (CEes) sobre o rendimento das culturas; os efeitos combinados da salinidade e da sodicidade, se expressa como Relação de Adsorção de Sódio (RAS) sobre a estabilidade estrutural dos solos. O efeito tóxico de alguns microelementos e os efeitos nutricionais devem ser considerados em certas circunstâncias (FAO, 1985 citado por Aragües, 1994).

Bernardo et al. (2005) relacionam seis parâmetros básicos para se analisar a água e determinar sua qualidade para irrigação; são eles: concentração total de sais solúveis ou salinidade, proporção relativa de sódio em relação aos outros cátions ou capacidade de infiltração do solo, concentração de elementos tóxicos, concentração de bicarbonatos, aspecto sanitário e aspecto de entupimento de emissores, frequentes em irrigação localizada. A salinidade das áreas irrigadas ocorrem devido ao uso de águas de qualidade inadequada, associado ao mal manejo do sistema solo-água-plantas e qualquer que seja a sua fonte, a água utilizada na irrigação sempre contém sais, embora a quantidade e a qualidade dos sais presentes variem bastante (Medeiros & Gheyi, 1994).

A qualidade da água de irrigação pode variar significativamente, segundo o tipo e a quantidade dos sais dissolvidos. Os sais se encontram em quantidade relativamente pequena, porém significativa, e têm origem na dissolução ou intemperização das rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros minerais, além de serem transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam na medida em que a água se evapora ou são consumidos pelas culturas. A adequação da água de irrigação não depende unicamente do teor total de sais, mas, também, do tipo de sais.

Na medida em que o conteúdo total de sais aumenta os problemas do solo e das culturas se agravam, o que requer o uso de práticas especiais de manejo para manter rendimentos aceitáveis. A qualidade da água e/ou sua adaptabilidade à irrigação se determina, também, pela gravidade dos problemas que podem ocorrer depois do uso em longo prazo. Os impasses resultantes variam em tipo e intensidade e estão à mercê do solo e do clima e da habilidade e conhecimento no manejo do sistema água-solo-plantas, por parte do usuário. O uso da água de certa qualidade está determinado pelas condições que controlam a acumulação dos sais e o efeito no rendimento das culturas (Ayers & Westcot, 1999).

O nível de salinidade da água das regiões áridas e semiáridas nos reservatórios de pequena e de média capacidade, bem como da água subterrânea, aumenta do início para o final da estiagem; fenômeno observado durante o processo de evaporação, em que os sais se vão acumulando na superfície do solo, próximo ao sistema radicular das plantas. O acúmulo de sais no solo também pode ser um processo natural, observado sobretudo quando ocorre deficiência de drenagem. A redução do conteúdo de água do solo por evapotranspiração resulta no aumento da concentração salina provocando toxicidade às plantas, queda de germinação das sementes e retardando ou inibindo completamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (Santos, 1999).

O aumento da salinidade diminui o potencial osmótico da solução do solo e dificulta a absorção de água pelas raízes ao mesmo tempo em que os íons Na^+ e Cl^- se acumulam nas folhas e afetam os processos fisiológicos da planta (Noble & Rogers, 1992). A tolerância à salinidade também pode variar entre genótipos de uma mesma espécie e o estágio de desenvolvimento da planta (Gheyi, 1997). O problema da salinidade em áreas irrigadas fica mais exposto quando o balanço de sais é maior nas entradas que nas saídas de água, indicando um aumento maior de sais na área analisada. Os principais sais encontrados tanto no solo como na água, são o cloreto de sódio (NaCl), o sulfato de magnésio (MgSO_4), o sulfato de sódio (Na_2SO_4), o cloreto de magnésio (MgCl_2) e o carbonato de sódio (Na_2CO_3). Tais sais podem ter sua solubilidade afetada em função de alguns fatores, como o pH e temperatura na fonte, razão por que esses fatores devem ser levados em consideração no estudo da qualidade das águas, principalmente quando se tem carbonatos e/ou bicarbonatos (Ulzurrún, 2000).

Silva Junior et al. (1999), analisando águas provenientes de diversas fontes nos Estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, concluíram que as águas do cristalino do Nordeste brasileiro possuem baixos níveis de sulfatos, carbonatos e potássio, além de constatarem a predominância de águas cloretadas sódicas independentes do nível de salinidade. Cruz & Melo (1974) citados por Silva Junior et al. (1999), desvendaram alguns fatores responsáveis pela salinização das águas subterrâneas do cristalino do Nordeste brasileiro, entre eles o processo de concentração por evaporação, observando relação direta entre o índice de aridez e o grau de salinização das águas. Assim, a concentração total de sais varia de acordo com o zoneamento árido; também se observa que o aumento da concentração é acompanhado de um aumento de Cl^- , Na^+ e Mg_2^+ ; outro fator, ainda relatado, é a condição de circulação da água cujas fraturas de menor profundidade, abaixo de 40 m, se intercomunicam com os aluviões favorecendo a renovação do aquífero enquanto nas fraturas

mais profundas a circulação é mais restrita com condições mais estagnantes, havendo maior intercâmbio com a rocha e, assim, a influência litológica se sobrepõe à climática.

3.8 - Evapotranspiração

Particularmente, a região Nordeste apresenta temperaturas elevadas cujas médias anuais variam de 20° a 28°C. Nas áreas situadas acima de 200 metros e no litoral oriental as temperaturas médias anuais variam de 24° a 26°C (Carvalho & Egler, 2003). O Nordeste tem também um número elevado de horas de sol por ano (estimado em cerca de 3.000) e índices acentuados de evapotranspiração, em torno de 2.000mm/ano devido à incidência perpendicular dos raios solares sobre a superfície do solo (Campos, 1997). A distribuição da pluviosidade da Região Nordeste é muito complexa, não só em relação ao período de ocorrência (três meses podendo, às vezes nem existir), como em seu total anual, que varia de 300 a 2.000mm dependendo da sub-região Nordestina. No litoral a pluviosidade anual supera 1.000mm, chegando a 2.000mm em alguns casos, enquanto no semiárido, está em torno de 800 milímetros, podendo atingir 300 mm ou menos (Campos, 1997).

Sabe-se que as chuvas do semiárido da região Nordeste apresentam enorme variabilidade espacial e temporal, com alternância de anos de secas e chuvas abundantes, o que ocasiona grande instabilidade climática; por outro lado, o aumento das concentrações de Gases de Efeito Estufa tem sido apontado como o principal agente de mudança nos processos dinâmicos da atmosfera, promovendo mudanças climáticas com ameaças à humanidade. No entanto, as atividades humanas, sobremaneira as relacionadas à queima de combustíveis fósseis e às atividades de Agricultura, Silvicultura e Outros Usos do Solo (conhecido pela sigla AFOLU - Agriculture, Forestry and Other Land Use), têm aumentado a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. O aumento da concentração desses gases na atmosfera relacionado às atividades humanas vem contribuindo para a intensificação do efeito estufa afetando o balanço energético da Terra, o que tem acarretado modificações climáticas no planeta.

O dióxido de carbono (CO₂) é o principal gás de efeito estufa antropogênico, apontado como o responsável por mais de 60% do aumento do efeito estufa de origem antrópica. A concentração de CO₂ na atmosfera aumentou de 280 para 379 ppm (partes por milhão) desde a revolução industrial, sendo a principal fonte de aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono neste período, pelo uso de combustíveis fósseis (IPCC, 2007).

De forma resumida e de acordo com Nobre et al. (2007), pode-se destacar que as futuras projeções de mudanças climáticas do Nordeste podem acarretar, entre outros, os seguintes impactos:

- A caatinga pode dar lugar a uma vegetação mais típica de zonas áridas, com predominância de cactáceas;
- Um aumento de 3°C ou mais na temperatura média deixaria ainda mais secos os locais que hoje têm maior déficit hídrico no semiárido;
- A produção agrícola de subsistência em grandes áreas do semiárido pode tornar-se inviável, colocando a própria sobrevivência do homem em risco;
- O alto potencial para evaporação do Nordeste combinado com o aumento de temperatura, causaria diminuição da água de lagos, açudes e reservatórios;
- O aumento das chuvas torrenciais e concentradas em curto espaço de tempo no semiárido resulta em enchentes e graves impactos socioambientais;
- As maiores frequências de dias secos consecutivos e de ondas de calor tendem a aumentar a frequência de veranicos;
- O aumento da temperatura aliado à tendência de aumento de chuvas torrenciais, tende a aumentar a degradação do solo, afetando as atividades agrícolas;
- O clima mais quente e seco tende a levar a população a migrar para as grandes cidades da região ou para outras regiões, gerando ondas de “refugiados ambientais” aumentando, assim, os problemas sociais já existentes nos grandes centros urbanos do Nordeste e do Brasil;
- Em grande parte do semiárido nordestino, onde a agricultura não irrigada já é uma atividade marginal, tornar-se-ia ainda mais marginal para a prática da agricultura de subsistência.

A região Nordeste tem potencial reconhecido de ser um grande produtor de culturas agrícolas, principalmente de frutas tropicais; entretanto, a ocorrência da seca tem inibido a expressão desse potencial o que faz da irrigação, uma técnica obrigatória em qualquer planejamento agrícola. Uma das variáveis mais importantes nesse planejamento é a evapotranspiração que, há muito tempo, tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores (Penman, 1948, 1956; Thornthwaite, 1948; Fontana, 1992; Bouchet, 1963; Matzenauer, 1992; Doorenbos & Kassam, 1994 e outros).

A evapotranspiração é a transferência da água das superfícies cultivadas para a atmosfera e é controlada pela disponibilidade de energia e pelo suprimento hídrico do solo (Penman, 1948, 1956). Sellers (1985) afirmou que a evapotranspiração é como um processo em que as plantas desempenham papel ativo e autorregulador de suas perdas energéticas através das folhas. Para Matzenauer (1992), a evapotranspiração real (ETR) é a perda de água para a atmosfera, por evaporação e transpiração nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo e pela demanda evaporativa da atmosfera. Pessoa (1992) definiu a evapotranspiração como o processo combinado de evaporação da água do solo e a transpiração das plantas. Estão associados ao processo de evapotranspiração pelo menos dois conceitos: a evapotranspiração potencial (ETP) ou de referência (ET_o) e a evapotranspiração real (ETR).

Thornthwaite (1948) introduziu o conceito de evapotranspiração potencial como sendo a água evaporada de uma superfície totalmente coberta de vegetação rasteira e uniforme, sem sofrer deficiência de água. Penman (1948) definiu a evapotranspiração potencial como a quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo de uma pequena superfície gramada, cobrindo uniformemente o solo sem deficiência de água. A evapotranspiração é um processo complexo que depende da energia solar e da reserva hídrica do solo em menor grau e em condições difíceis de avaliar a natureza e as características da cobertura vegetal e pedológica do solo (Maltez et al., 1986).

Por mais de uma década a FAO (Food and Agriculture Organization) adotou o conceito e a forma de cálculo da evapotranspiração de referência proposta por Doorenbos e Pruitt (1977); Allen et al., (1989), comparando a evapotranspiração de referência obtida pelos métodos de Penman, Kimberly-Penman, Penman corrigido e Penman-Monteith com medições lisimétricas, observaram que o modelo de Penman-Monteith foi o que melhor se ajustou as medições diárias e mensais e reconhecendo nova necessidade de adoção de um único método para representar e definir a evapotranspiração de referência; em 1990 a FAO e a ICID (International Commission on Irrigation and Drainage) constituíram uma comissão de especialistas para redefinir o conceito e apresentar uma nova metodologia de cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), e como resultados dessa discussão, foram introduzidos, na formulação anterior, os valores de 70 sm^{-1} , 23% e 12 cm para a resistência estomática, albedo e altura de uma cultura hipotética, respectivamente. Neste sentido, como o estabelecimento das características desta cultura, que se aproxima à da grama, adotaram o método de Penman-Monteith como o mais adequado para determinar ET_o. Segundo Allen et

al. (1994b) esta cultura foi escolhida tendo em vista que suas características são mais bem definidas, facilmente adaptada e disponível para validação de novos modelos.

Bouchet (1963) afirma que a evapotranspiração real difere da potencial em razão de por um lado, considerar a diferença da cobertura vegetal, e por outro, o solo em condições reais de suprimento de água. As necessidades hídricas das culturas são expressas em termos de evapotranspiração (ET), em mm/dia ou mm/período. Segundo Doorenbos e Kassam (1994), a evapotranspiração real (ETR) será igual à evapotranspiração máxima (E_{tm}) quando a água disponível no solo for suficiente e, menor quando a água disponível no solo for limitada.

O meio mais fácil e mais usado de se medir a evapotranspiração diretamente é através de lisímetros e tanques evapotranspirômetros. Allen et al., (1994a) parametrizaram a chamada equação de Penman-Monteith FAO (PM-FAO). A FAO, recomendam através de seus consultores que os métodos empíricos de estimativa de E_{T0} sejam calibrados e validados para outras regiões sendo a equação PM-FAO a referência padrão para esses ajustes. Esta aplicação deve ser feita para locais próximos que tenham medidas climáticas suficientes. A fórmula de Penman-Monteith tem sido, até hoje, a base para a maioria dos estudos teóricos e experimentais de evaporação natural. Ela combina o balanço de energia na superfície com um termo aerodinâmico cuja equação resultante é comumente conhecida como equação combinada (Sediyama, 1996). O autor afirma que se tem procurado desenvolver trabalhos no sentido de se avaliar a equação de Penman-Monteith para estimativa da E_{T0}, uma vez que se vem observando que ela tem apresentado melhores resultados para a estimativa da E_{T0} de uma cultura hipotética e atende, mais de perto, à definição original de E_{Tp} de Penman e ao conceito adotado pela FAO-24 para E_{T0}.

A equação de Penman-Monteith é a mais precisa, quando usada na base horária e se somando os valores para obter estimativa diária de E_{T0}. Segundo os autores, exemplos de cálculos mostram claramente que, quando se utilizam dados diários, a equação de Penman-Monteith pode proporcionar estimativa precisa de E_{T0}; deve-se, entretanto, ter prudência no manuseio, como advertem Doorenbos & Pruitt (1975), pois o uso de dados climáticos médios em equações combinadas pode conduzir a erros significativos, Allen et al. (1998);

3.9 - Estimativa da evapotranspiração da cultura (E_{Tc})

A estimativa da evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) envolve um processo de duas etapas, em que na primeira, se estima a evapotranspiração de referência (E_{T0}), utilizando-se

em geral, uma equação empírica, enquanto na segunda a ET_c é obtida ao se multiplicar ET_o por um coeficiente de cultura (K_c) que integra as características da cultura e do clima local (Doorenbos & Pruitt, 1977). A evapotranspiração pode ser definida como a quantidade de água evaporada e transpirada por uma superfície vegetal, durante determinado período, incluindo a evaporação da água do solo, a evaporação da água depositada na superfície das folhas e a própria transpiração pelo vegetal, (Mantovani, 1993).

Segundo Allen et al. (1998) a evapotranspiração é dada pela ocorrência simultânea da evaporação e da transpiração e consiste em um processo no qual a água em forma líquida é convertida em vapor (vaporização) e removida da superfície evaporante, seja esta superfície líquida ou sólida, através de processos endógenos. A transpiração consiste na vaporização da água de interstícios inter e intracelulares das folhas, responsáveis pelo desenvolvimento vegetal e na formação de tecidos, retirada do solo através das raízes. A evapotranspiração recebe várias definições entre os estudiosos da área. Em 1944, Thornthwaite foi um dos que definiram a evapotranspiração potencial, como “a perda de água de um solo vegetado, sem déficit hídrico, em determinado período” (Klar, 1988).

Em 1948 Penman introduziu a influência do albedo nas taxas de evaporação relacionando a evaporação de uma superfície livre com a evaporação potencial através de um fator de proporcionalidade, o qual é determinado pelo tipo de vegetação e fatores climáticos meteorológicos, criando o método combinado de Penman. Ainda neste século Doorenbos & Pruitt (1977) propuseram, no boletim número 24 da FAO, uma modificação ao método de Penman, introduzindo o fator de cultivo (K_c).

A fim de definir a evapotranspiração de comunidades de vegetais fixaram-se condições para as quais sua medida deve ser feita e se definiu, então, a evapotranspiração potencial de referência ET_o como sendo a quantidade de água evaporada na unidade de tempo e de área, por uma cultura de baixo porte, verde, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme e sem deficiência de água. Este conceito é utilizado nas regiões tropicais e subtropicais para a grama batatais (*Paspalum notatum* L.) a qual permanece verde durante o ano. Para tal superfície as condições climáticas (energia líquida, vento e umidade relativa) é que determinam o valor de ET_o . Logo, a evapotranspiração potencial de referência é tomada como um elemento meteorológico para estudos comparativos (Reichardt, 1985). Devido à interface cultura-atmosfera entre a grama batatais e outras culturas, em diferentes estádios de desenvolvimento, definiu-se a evapotranspiração máxima da cultura ET_c relacionada à evapotranspiração potencial de referência ET_o , através de um coeficiente de cultura K_c . O valor de K_c é determinado através da relação entre ET_c e ET_o .

Smith (1991) propôs uma definição padronizada para a evapotranspiração de referência com vistas principalmente, à utilização do modelo de Penman-Monteith, como padrão. A evapotranspiração de referência seria aquela que ocorre em uma cultura hipotética, cobrindo toda a superfície do solo, com altura de 12 cm, resistência do dossel de 70 s m^{-1} e poder refletor (albedo) de 0,23. A maioria dos modelos citados na literatura para o cálculo da evapotranspiração, incorpora diferentes parâmetros do clima local e da cultura. Assim, o uso de um modelo de estimativa em uma região deve pressupor sua validade para cada localidade, sendo de fundamental importância fazer um contraste e uma calibração dos diferentes modelos para cada localidade em que se deseja utilizá-los, considerando-se as condições (Jensen et al., 1990).

Por outro lado, em locais com disponibilidade suficiente de dados climáticos a estimativa da evapotranspiração de referência por meio de um método mais complexo, como o de Penman-Monteith, que pondera as diferentes variáveis climáticas, é preferível. No entanto, em condições de manejo de irrigação em locais distantes de estações meteorológicas completas a utilização de métodos simplificados, baseados em dados de tanques de evaporação ou temperatura do ar, é justificada em virtude de sua fácil utilização e da interpretação dos resultados e do custo relativamente baixo. Em condições em que se dispõe apenas de dados de temperatura máxima e mínima do ar, frequentemente se utilizam métodos como de Hargreaves & Samani (Bonomo, 1999).

Segundo Pereira et al. (1997), os métodos para estimativa da evapotranspiração de referência ou potencial (ET_o) podem ser classificados da seguinte forma: **a)** empíricos: tanque Classe A, Thornthwaite, Camargo, Makkink, Radiação Solar, Jensen-Haise, Linacre, Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle; **b)** Balanço de Energia: Razão de Bowen e Priestley-Taylor; **c)** aerodinâmico: Correlação dos Turbilhões; **d)** combinados: Penman, Slatyer & Mc Ilroy; Penman simplificado e Penman Monteith. Estes métodos determinam a evapotranspiração de referência a partir de fórmulas empíricas ou semiempíricas. A opção por um ou outro método dependerá, na maioria das vezes, da precisão requerida ou do tipo de dado climatológico disponível, uma vez que nenhum deles parece desfrutar de uma preferência absoluta.

Jayakumar et al. (1987), determinaram, através de uma bateria de lisímetros de pesagem na Índia durante o período seco, a necessidade hídrica do coqueiro irrigado, encontrando valores diários entre $2,1 \text{ mm d}^{-1}$ a $4,1 \text{ mm d}^{-1}$. Teixeira et al. (2002) utilizaram o método da razão de Bowen para estimar a evapotranspiração da bananeira irrigada, durante dois ciclos de produção (janeiro de 1999 a novembro de 2000) no Vale do Rio São Francisco.

Para o primeiro ciclo de produção os autores encontraram a evapotranspiração acumulada da cultura de 1210 mm, correspondendo a um valor médio de $3,8 \pm 1,1 \text{ mm d}^{-1}$ e, no segundo ciclo, o consumo hídrico da cultura foi de 880 mm o que correspondeu a um valor médio de $4,0 \pm 1,2 \text{ mm d}^{-1}$. Teixeira et al., (2003) também determinaram o consumo hídrico da goiabeira no Vale do Rio São Francisco durante os ciclos de produção e colheita, pelo método da razão de Bowen, a evapotranspiração acumulada da goiabeira estimada entre a poda e a colheita foi de 906 mm, o que correspondeu a um valor médio de $4,53 \pm 0,68 \text{ mm d}^{-1}$.

3.10 - Estimativa da ETc pelo método do lisímetro de drenagem

Lisímetros são tanques enterrados no solo dentro dos quais se mede a evapotranspiração de referência (ET_o), e é o método mais preciso para determinação direta da ET_o, desde que eles sejam instalados corretamente.

Os pontos básicos para instalação de um lisímetro são os seguintes:

- Deve ser suficientemente largo, de modo a reduzir o efeito da sua parede interna e tenha uma área de tamanho significativo; a área mínima deve ser de 2 m^2 ;
- Deve ser profundo, de modo que evite restringir o desenvolvimento do sistema radicular das plantas nele cultivadas. De modo geral, para as plantas de sistema radicular pouco profundo o volume mínimo de terra em um lisímetro deve ser de 2 m^3 ;
- As condições físicas do solo dentro do lisímetro precisam aproximar-se, tanto quanto possível, das condições do solo que lhe fica externo e se deve controlar o lençol freático dentro dele, de forma que não torne as condições de umidade interna diferentes da externa;
- A vegetação plantada dentro do lisímetro deve ser da mesma espécie, altura e densidade da vegetação externa;
- Nunca se deve colocar um lisímetro dentro de uma área sem vegetação;
- O lisímetro deve ser instalado em uma área plana, homogênea em cultura e solo, de dois hectares, no mínimo.

Segundo Aboukhaled et al. (1982) os lisímetros são grandes "containers" preenchidos com solo (ou incluso um bloco de solo) localizados no campo para representar o ambiente local, com superfície vegetada ou em solo nu, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento ou de uma cobertura vegetal de referência ou, ainda, da evaporação, a

partir de um solo não vegetado. Conhecidos e utilizados há 300 anos, nestas últimas décadas foram desenvolvidos, basicamente, dois tipos principais, isto é, os de pesagem e os de não pesagem. Os lisímetros de pesagem envolvem vários princípios e dispositivos de medida, que podem ser: de pesagem mecânica, com balanças, de pesagem eletrônica, com células de carga indicadoras de esforço ou, ainda, os sistemas de pesagem hidráulica, os quais possibilitam estudar os vários termos da equação de balanço hídrico.

Os lisímetros podem ser classificados em categorias, como: não-pesáveis, com lençol freático; de nível constante; pesáveis, onde a variação de massa do sistema é determinada por um mecanismo de pesagem. Além disso, são classificados quanto ao tipo de perfil, reconstituído ou monolítico, e ao sistema de drenagem que pode ser a vácuo e por gravidade (Silva et al. 1999).

O lisímetro de Percolação consiste em se enterrar um tanque com as dimensões mínimas de 1,5 m de diâmetro por 1,0 m de altura, no solo, deixando-se a borda superior 5 cm acima da sua superfície. Do fundo do tanque sai um cano que conduzirá a água drenada até um recipiente; este tanque tem que estar cheio com o solo do local onde será instalado o lisímetro, mantendo a mesma ordem dos horizontes. O tanque pode ser um tambor, pintado interna e externamente, para evitar corrosão, ou de metal, prefabricado; também têm sido muito utilizados lisímetros de polietileno. No fundo do tanque, se coloca uma camada de mais ou menos 10 cm de brita coberta com uma camada de areia grossa. Esta camada de brita tem a finalidade de facilitar a drenagem da água que percolou através do tanque. Depois de instalado se planta grama no tanque e na sua área externa, conforme ilustrado na Figura 3.1.

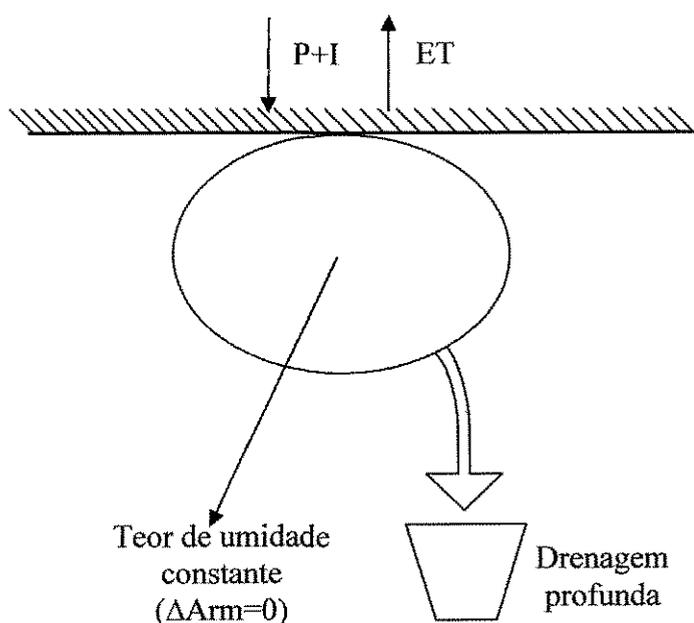


Figura 3.1 – Representação esquemática de um lisímetro de percolação

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada pelo método do balanço hídrico no solo (BHS) através da seguinte expressão (Allen et al., 1998):

$$P + I - ET - R \pm D \pm \Delta A = 0 \quad (3.2)$$

em que P é a precipitação pluviométrica e esta foi monitorada com pluviômetro instalado na área; I a lâmina de irrigação, medida por meio de regadores com capacidade de 10 litros; ET a evapotranspiração; R o escoamento superficial da água; D o total de água drenado (L) e ΔA a variação da água armazenada no solo. Todos os componentes da equação são expressos em mm d⁻¹.

De vez que para o cálculo do balanço hídrico se adotava como igual a zero, as variáveis escoamento superficial e a variação da água armazenada no solo, visto que o experimento foi conduzido no período seco da região e a área experimental mantida na capacidade de campo, a Eq (3.2) pode ser reescrita como segue:

$$P + I - ET \pm D = 0 \quad (3.3)$$

Quando as medidas de lisímetros diferem das estimativas feitas por modelos com forte embasamento físico, como o de Penman-Monteith-FAO, é provável que o dispositivo lisimétrico não esteja representando as condições ambientais de estudo (Allen et al., 1998).

3.11 - Coeficiente de Cultura

Bezerra (2004) cita que a evapotranspiração da mamoneira ainda não foi devidamente estimada no Brasil. Alguns pesquisadores ressaltam que há necessidade de uma precipitação mínima de 700 a 850 mm distribuídos durante o ciclo para que se obtenha boa produtividade (Azevedo & Lima, 2001). Esta variabilidade se dá em função das condições da planta e do local de cultivo. Desde o plantio até a colheita uma cultura vai crescendo progressivamente e ocupando a área disponível, condições em que ocorre evapotranspiração real que na prática, é denominada evapotranspiração da cultura (ET_c) (Pereira et al., 1997). Devido as diferenças da interface cultura-atmosfera entre a grama batatais e outras culturas, também em diferentes estádios de desenvolvimento, estabeleceu-se um coeficiente de cultura (K_c) mediante a relação entre ET_c e ET_o.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3.4)$$

O coeficiente de cultura (K_c) representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a ET_c da evapotranspiração de referência (ET_o): a altura da cultura, a resistência de superfície e o albedo da superfície cultura-solo, que representa a razão entre as radiações de ondas curtas refletidas e incidentes, parâmetro fundamental na determinação do balanço de radiação à superfície (Leitão & Oliveira, 2000). Durante o período vegetativo o valor de K_c varia com o desenvolvimento da cultura e com a fração de cobertura da superfície do solo, pela vegetação (Reichardt & Timm, 2004).

Doorenbos & Pruitt (1977) apresentaram coeficientes de cultura para várias espécies de interesse agrônomo, inclusive a mamoneira, quantificando e caracterizando seus respectivos estádios de desenvolvimento (Tabela 3.1); entretanto, os valores correspondentes às fases I e II são oriundos de interpolação, em função da ET_o durante as fases iniciais e da frequência de irrigação ou das chuvas periódicas. Esses autores ainda recomendam que estudos regionais sejam realizados visando ajustar-se K_c 's para as condições edafoclimáticas locais e as características varietais.

Tabela 3.1 – Coeficiente de cultivo (K_c) correspondente à cultura da mamona, em diferentes fases de desenvolvimento.

Estádios de desenvolvimento	Caracterização dos Estádios	Duração Aproximada (dias)	K_c
Estádio I – Fase Inicial.	Germinação e crescimento inicial, quando a superfície do solo muito pouco ou quase nada é usada pela cultura.	25	0,35
Estádio II – Fase de Crescimento.	Desde o final da fase inicial até se chegar a uma cobertura com sombreamento com cobertura completa.	40	0,75
Estádio III – Fase do período intermediário	Desde o final da fase anterior até o momento de início da maturação, manifestada pela descoloração das folhas ou sua queda.	65	1,05
Estádio IV – Fase do período final.	Do estágio anterior até a plena maturação ou colheita	50	0,50

Fonte: Doorenbos & Pruitt (1977)

O planejamento da irrigação baseado em valores empíricos do K_c que não seja do local estabelecido, certamente acarretará sobre-estimativa ou subestimativa das reais

necessidades hídricas da cultura, isto, associado a outros fatores, pode refletir nos custos de produção, na redução da qualidade do produto e na produtividade agrícola (Silva et al., 2000). O coeficiente de cultura (K_c) é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura (E_{Tc}), sob condições de não estresse hídrico e a evapotranspiração de referência (E_{To}). Este coeficiente relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência e representa, ainda, o uso de água de uma cultura específica, de relevante importância para a estimativa do requerimento hídrico, necessário tanto para o dimensionamento do sistema de irrigação quanto para a operacionalização de perímetros irrigados (Clark et al., 1996).

O coeficiente de cultura é fator determinante no indicativo do consumo de água ideal para a planta durante todo o seu ciclo constituindo-se, portanto, em elemento imprescindível para um escalonamento mais racional de projeto e manejo de irrigação. O K_c depende do estágio de desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da densidade de plantio e das condições atmosféricas dominantes, ou seja, o K_c relaciona a evapotranspiração de uma cultura que cresce em condições ótimas produzindo rendimentos máximos, como a de uma cultura de referência, tal qual a cultura da grama.

Bezerra et al. (1997) determinaram o coeficiente de cultura da acerola utilizando o método do balanço hídrico no solo, para determinar a evapotranspiração da cultura, e o de Penman-Monteith para obter a evapotranspiração de referência e constataram que, para as condições climáticas da área do estudo, os valores de coeficiente de cultura recomendados por Doorenbos & Kassam (1979) não devem ser adotados visto que os mesmos subestimam a evapotranspiração da cultura. Para a maioria das culturas, os coeficientes de cultura, de acordo com Doorenbos & Kassam (1979), assumem valores baixos na fase de emergência, valores máximos durante o período de desenvolvimento e declinam na fase de maturação. Segundo Azevedo et al. (1993), em algumas culturas o coeficiente de cultura atinge valores superiores à unidade, particularmente durante o subperíodo de maior consumo hídrico, o que torna o termo "potencial" de significado questionável.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Local do experimento

O estudo foi conduzido na cidade do Senhor do Bonfim, Bahia, na área experimental de Irrigação e Drenagem do Instituto Federal Baiano, Campus de Senhor do Bonfim, cujas coordenadas são: Latitude: 10° 22' S, Longitude: 40° 08' W, Altitude: 530 m (Figura 4.1). O período de estudo compreendeu o mês de julho de 2008 a janeiro de 2009.

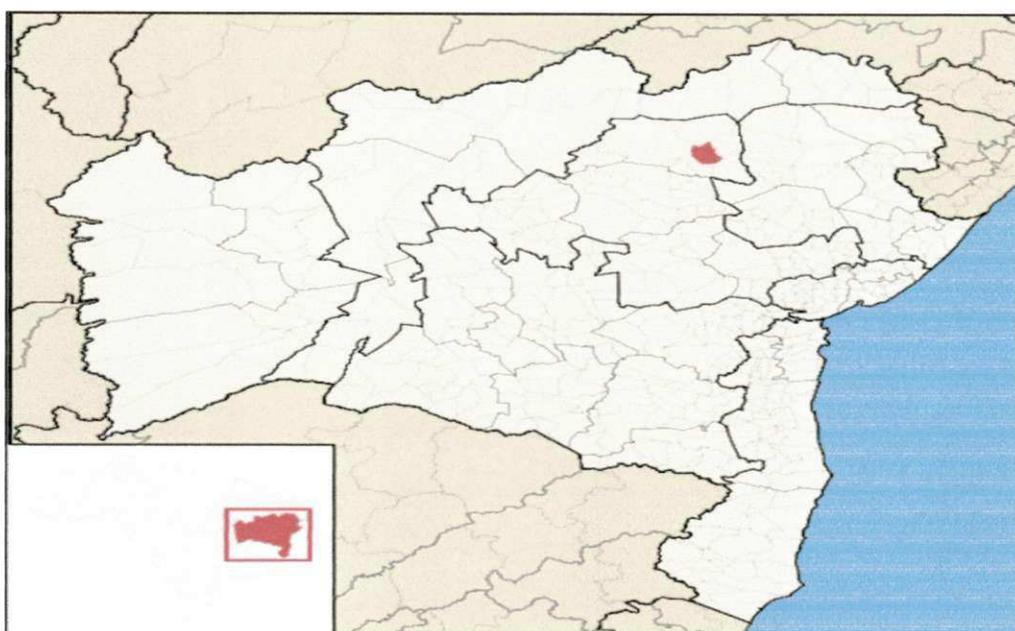
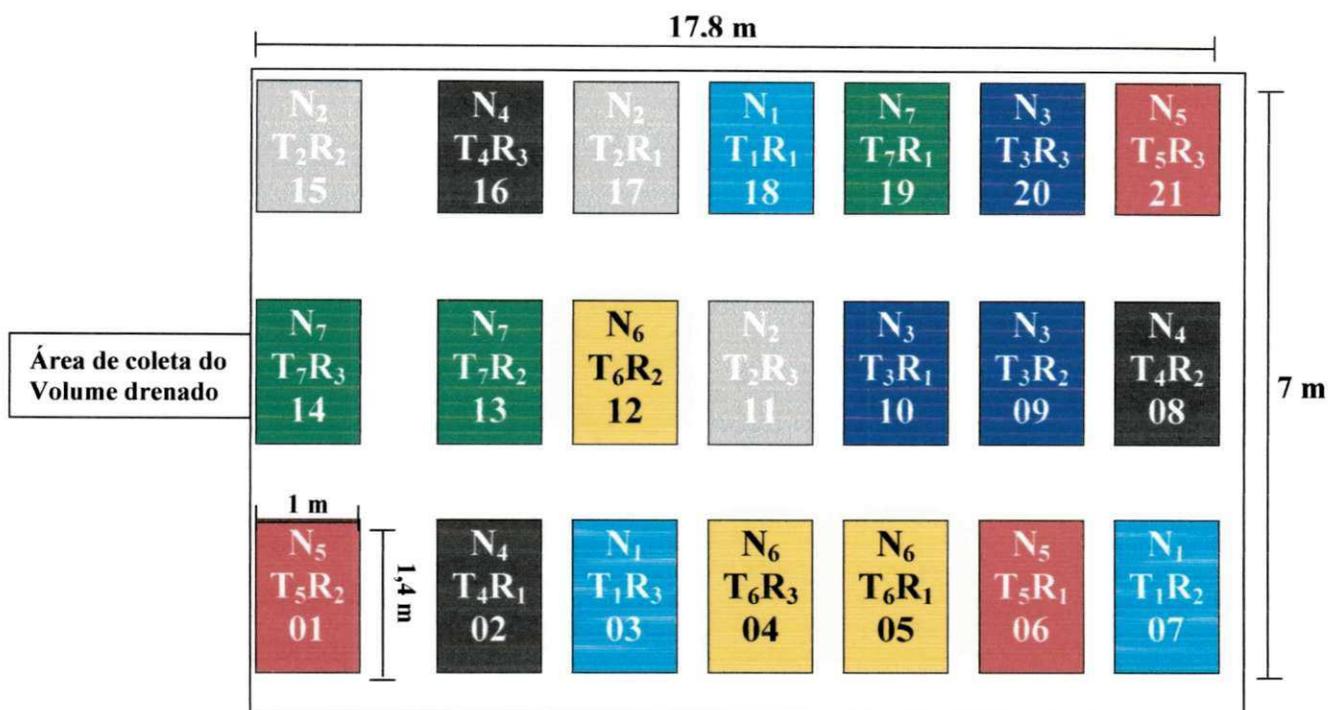


Figura 4.1 - Localização do município de Senhor do Bonfim.

4.2 - Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 21 unidades experimentais, conforme ilustrado na Figura 4.2; os tratamentos foram constituídos de sete níveis de salinidade de condutividades elétricas da água de irrigação, sendo que o nível mais baixo de salinidade foi a água que se usou como testemunha, correspondente a água da Empresa Baiana de Água e Saneamento (EMBASA), com $0,12 \text{ dS m}^{-1}$; os demais níveis, foram: 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; 4,0 e 4,8 dS m^{-1} (25°C). A cultura utilizada foi a mamona BRS-energia com espaçamento entre fileiras de 0,7 m e entre plantas de 0,5 m, conforme recomendações técnicas. Destacaram-se 21 lisímetros de

drenagem e cada unidade foi composta de 4 plantas, totalizando 84 plantas úteis em todo o experimento.



Legenda:

N = Níveis de salinidade; **T** = Tratamento; **R** = Repetição

N₁ = Testemunha (H₂O da Embasa – aproximadamente 0,12 d Sm⁻¹)

N₂ = Nível de salinidade = CE = 0,8 d Sm⁻¹

N₃ = Nível de salinidade = CE = 1,6 d Sm⁻¹

N₄ = Nível de salinidade = CE = 2,4 d Sm⁻¹

N₅ = Nível de salinidade = CE = 3,2 d Sm⁻¹

N₆ = Nível de salinidade = CE = 4,0 d Sm⁻¹

N₇ = Nível de salinidade = CE = 4,8 d Sm⁻¹

Figura 4.2 - Croqui da área experimental

4.3 - Descrição do sistema de lisimetria

Dimensões da área experimental: largura de 7,0 m e comprimento de 17,8 m, totalizando 124,6 m². Cada lisímetro se compõe de uma caixa de fibra de vidro com capacidade para 1.120 litros, cujas dimensões são: 1,0 m de largura por 1,4 m de comprimento e 0,80 m de profundidade, espaçados 1 m (Figura 4.3). As caixas foram enterradas a 0,75 m de profundidade, no fundo de cada uma delas se fez um orifício e se conectou uma tubulação para facilitar a descarga do efluente até os baldes coletores; sobre o orifício aberto no fundo da caixa se pôs uma calha de 30 cm de comprimento feita com tubo de PVC com diâmetro de 33 mm; em seguida, sobre a calha e toda a base da caixa, se colocou uma camada de brita zero

e espessura de 2 cm e, sobre esta, uma camada de areia lavada, de igual espessura; enfim, sobre a camada de areia lavada foi posto o solo, de modo a formar um perfil homogêneo.

Fez-se o preenchimento dos lisímetros em camadas de aproximadamente 10 cm até atingir a espessura de 60 cm, procurando-se acomodar o material de solo, de modo a deixá-lo com a massa específica próxima à original.

O sistema de drenagem de cada lisímetro foi ligado a um dispositivo para coleta do efluente; neste efluente se mediram o volume de água drenado e a condutividade elétrica.



Figura 4.3 - Disposição dos lisímetros em campo

4.4 - Caracterização do solo e água

Coletou-se o solo utilizado para o preenchimento dos lisímetros no perfil natural da área experimental do Instituto Federal Baiano de Senhor do Bonfim. As características físico-químicas do solo foram determinadas nos laboratórios de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola da UFCG utilizando-se a metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997), cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 4.1. e 4.2.

Tabela 4.1– Características químicas do material de solo coletado no interior dos lisímetros de drenagem, nas profundidades de 0 – 20 e 20 a 40 cm.

Características químicas	Profundidade (cm)	
	0 – 20	20 – 40
pH	6,5	6,3
M. O. (%)	1,55	1,19
Fósforo (ppm)	136	51,5
Cálcio (me/100g)	2,80	2,10
Magnésio (me/100g)	1,98	1,61
Potássio (ppm)	12,0	9,0

Tabela 4.2– Características físicas do material de solo coletado, no interior dos lisímetros de drenagem, nas profundidades de 0 – 20 e 20 a 40 cm.

Características físicas	Profundidade (cm)	
	0 - 20	20 – 40
Densidade do solo (g cm^{-3})	1,21	1,35
Densidade de partículas (g cm^{-3})	2,53	2,53
Areia (g kg^{-1})	730,5	698,0
Silte (g kg^{-1})	75,0	223,0
Argila (g kg^{-1})	194,5	79,0

Obtiveram-se os níveis de salinidade da água de irrigação mediante a utilização de cloreto de sódio, cloreto de cálcio e cloreto de magnésio, nas proporções de 7:2:1, respectivamente, diluídos em água da EMBASA, conforme os tratamentos adotados. A água utilizada na obtenção dos níveis de salinidade da água de irrigação provém da EMBASA e apresenta condutividade elétrica em torno de $0,12 \text{ dS m}^{-1}$. O tratamento testemunha se originou da água de abastecimento da Escola Agrotécnica Federal de Senhor do Bonfim.

4.5 - Condução do experimento

O plantio da cultura foi realizado manualmente, no dia 13 de setembro de 2008, a 2 cm de profundidade do solo e 4 sementes por cova. Os tratos culturais, como capinas, desbastes e

adubação, também foram feitos manuais, ao longo do ciclo da cultura, que para a mamona cultivar BRS Energia é de 120 dias, cujo ciclo ficou realmente comprovado, pois a colheita do experimento foi em janeiro de 2009.

A adubação de plantio foi realizada com uréia na proporção de 20 kg de nitrogênio por hectare. A adubação de cobertura aos 25 DAE foi realizada com uréia e cloreto de potássio nas proporções de 40 kg de nitrogênio por hectare e 60 kg de potássio por hectare, respectivamente.

4.6 - Eficiência do uso de água

Determinou-se a eficiência do uso da água pela cultura através da relação entre a produtividade (kg ha^{-1}) e a quantidade de água consumida ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), logo a eficiência ficou determinada em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$.

O cálculo do consumo de água (C.A.) pelas plantas (Eq. 4.1) se estendeu do plantio a emergência e depois, a cada 15 dias após a emergência (DAE), até atingir os 79 DAE.

$$\text{C.A.} = \sum \text{Vap} - \sum \text{Vad} \quad (4.1)$$

em que:

C.A. = Consumo de água (L)

Vap, Vad = Volume de água aplicado e drenado respectivamente (L)

Conforme ilustrado na Figura 4.4; antes do início do experimento, todos os lisímetros foram irrigados até a capacidade de campo, tomando-se como base a curva de retenção de água do solo, de acordo com a Figura 4.5.

A lâmina de irrigação aplicada correspondeu à ETc, durante o ciclo da cultura, acrescida da fração de lixiviação de 10 % em todos os tratamentos. O turno de rega foi adotado a cada dois dias e a aplicação da irrigação foi manual e de modo uniforme.

Retiraram-se, durante o ciclo da cultura, amostras do solo em cada lisímetro para avaliação da umidade pelo método padrão de estufa. A água de drenagem foi coletada a cada dois dias para quantificação do volume drenado.



Figura 4.4 - Irrigação dos lisímetros

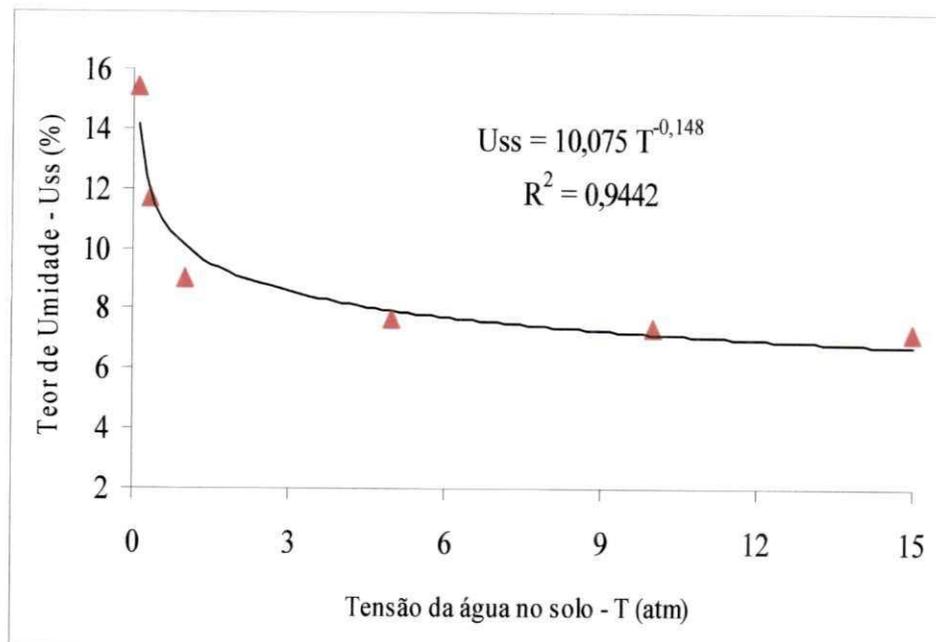


Figura 4.5 - Curva característica de retenção de umidade do solo

4.7 - Determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) (mm) do lisímetro da grama

A evapotranspiração de referência diária (ET_o) foi estimada através de medidas diretas feitas em um lisímetro de grama de 1,5 m de diâmetro instalado na área experimental, conforme ilustrado na Figura 4.6. A (ET_o) será determinada utilizando-se a seguinte equação:

$$ET_o = \left[\frac{V_{ap} - V_{ad}}{S} * \frac{1}{TR} \right] - P_e \quad (4.2)$$

em que:

V_{ap}, V_{ad} = volume de água aplicado e drenado, respectivamente (L)

S = área de exposição do lisímetro da grama para o diâmetro de 1,5 m (1,767m²)

TR = Turno de rega (1dia)

P_e = Precipitação efetiva (mm)

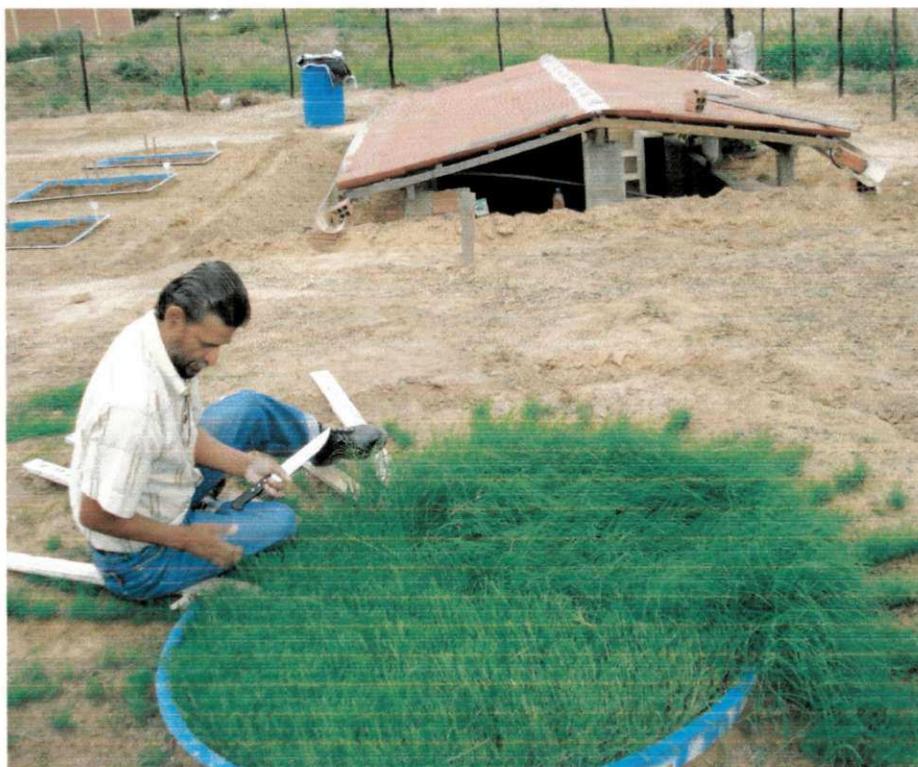


Figura 4.6 – Lisímetro de grama.

4.8 - Determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) (mm)

Considerando-se a lâmina de irrigação (I) como sendo o volume de água aplicado (V_{ap}) e o total de água drenado (D), como o volume de água drenado (V_{ad}), tem-se, então, que a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c), será conforme a equação:

$$ET_c = \left[\frac{V_{ap} - V_{ad}}{S} * \frac{1}{TR} \right] - P_e \quad (4.3)$$

em que:

V_{ap}, V_{ad} = volume de água aplicado e drenado, respectivamente (L)

S = área de exposição do lisímetro (1,4m²)

TR = Turno de rega (2dias)

4.9 - Determinação do coeficiente da cultura (K_c)

Determinou-se o coeficiente de cultura (K_c) da mamona de acordo com a relação proposta por Doorenbos & Kassam (1979), ao relacionarem a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), sendo esta obtida diretamente em lisímetro de grama instalado na área experimental, conforme equação 4.4.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (4.4)$$

4.10 - Comparação da ET_o: lisímetro de grama e Hargreaves-Samani

Para a avaliação comparativa dos valores obtidos da evapotranspiração de referência (ET_o), utilizou-se os resultados do método do lisímetro da grama e o proposto por Hargreaves-Samani (1985), calculado em função da radiação solar e dados de temperatura obtidos no local do experimento.

$$ET_o = 0,0023 Ra(T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0,5} (T_{m\acute{e}d} + 17,8) \quad (4.5)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

Ra = radiação extraterrestre (mm dia^{-1});

$T_{m\acute{a}x}$, $T_{m\acute{i}n}$ = temperaturas máxima e mínima, respectivamente ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{m\acute{e}d}$ = temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)

4.11 - Variáveis analisadas

As variáveis analisadas foram: consumo de água e evapotranspiração da cultura (ET_c), coeficiente de cultivo (K_c), rendimento da mamona BRS Energia e eficiência de uso da água.

4.12 - Análise estatística

Os dados foram analisados por meio de análise de variância utilizando-se o programa estatístico STAT. Empregou-se, para comparação das médias dos tratamentos o teste de Tukey, adotando-se um nível de 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Variáveis do balanço hídrico

5.1.1 – Consumo de água e evapotranspiração da cultura

Considerando-se que durante o período de estudo a umidade em cada lisímetro foi mantida próximo à capacidade campo mediante as frequências dos volumes de irrigação que proporcionaram uma drenagem adequada, tal como as temperaturas registradas se mantiveram altas, ou seja, ao redor de 35°C em média e as precipitações se mantiveram praticamente nulas, isto influenciou sobremaneira nos resultados da evapotranspiração do experimento, tal como se observa nos resultados do gráfico de temperatura e precipitação, ilustrado na Figura 5.1.

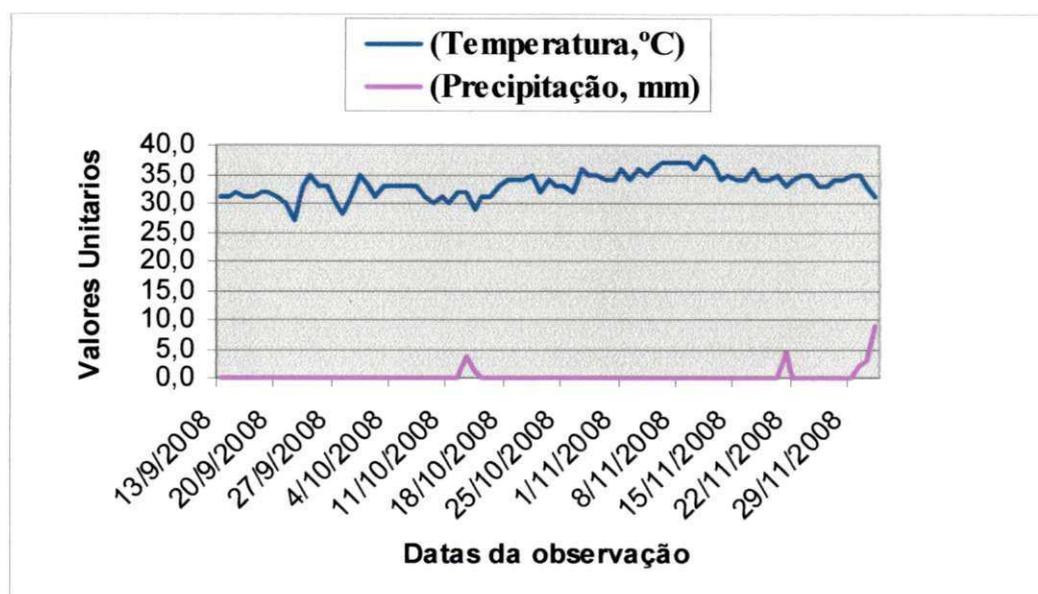


Figura 5.1 – Dados de temperatura e precipitação durante o experimento.

Pode-se dizer que, em suma, que foram esses aspectos que ocasionaram o decréscimo observado no crescimento e desenvolvimento das plantas irrigadas com água de diferentes concentrações salinas. Há que levar em consideração também, o efeito osmótico que afeta, de maneira direta, o crescimento das plantas. Nobre (2004) destaca que o aumento da temperatura induz a um aumento da evapotranspiração das plantas, independente das mudanças na precipitação. Segundo Savy Filho (2005) a mamona é uma planta que apresenta tolerância à seca, porém necessita de umidade para a germinação, período de florescimento e frutificação, vez que a temperatura ideal para o desenvolvimento da cultura é entre 20°C e 30°C e a temperatura ótima igual a 23°C. Altas temperaturas na fase de floração, acima de

40°C podem provocar senescência das flores, prejudicando a produção de frutos. Por suas características a cultura da mamona é capaz de produzir satisfatoriamente bem até sob condições de baixa precipitação pluviométrica. Mesmo tendo sua produtividade afetada, tem-se mostrado resistente ao clima adverso, quando se verificam perdas totais em outras culturas e serve, desta forma, como alternativa de trabalho e de renda principalmente para o pequeno agricultor (Beltrão et al., 2003). Em regiões que durante uma parte do ano as condições de temperatura e de radiação solar são suficientes para a produção agrícola mas existe um déficit hídrico significativo, como nas regiões norte, nordeste e noroeste do Estado de São Paulo, a adoção de técnicas conjugadas de plantio direto e de irrigação se tem mostrado promissora, do ponto de vista de melhor se explorar a terra e quanto ao aspecto conservacionista (Lopes et al., 2004).

Na Tabela 5.1, se observa que o consumo de água durante a emergência foi similar em todos os tratamentos, e vale salientar que o período de germinação foi de 11 dias, de modo que a água transpirada pelas plântulas nesses primeiros dias da emergência é, evidentemente, de ordem ínfima, quando comparada com o volume evaporado na superfície do solo.

Tabela 5.1 – Volume de água aplicado (Vap) e drenado (Vad) por tratamento e consumo de água pelas plantas, durante a emergência e aos 15 Dias Após Emergência (DAE).

Tratamentos*	Emergência			15 DAE		
	Vap (L)	Vad (L)	Consumo (L)	Vap	Vad	Consumo (L)
H ₂ O Embasa	156	46,67	109,33	246	1,34	244,67
0,8 dS m ⁻¹	156	61,41	94,59	222	5,70	216,30
1,6 dS m ⁻¹	156	51,89	104,11	222	3,82	218,18
2,4 dS m ⁻¹	156	48,37	107,63	222	5,72	216,28
3,2 dS m ⁻¹	156	65,24	90,76	222	5,77	216,23
4,0 dS m ⁻¹	156	51,29	104,71	222	8,01	213,99
4,8 dS m ⁻¹	156	45,04	110,96	222	7,35	214,65

* Três repetições por tratamento

A sensibilidade às condições de estresse salino é variável de acordo com a espécie e a fase de germinação de cada cultura. Dias et al. (2003) consideram a germinação e o desenvolvimento inicial, as fases mais sensíveis aos efeitos da salinidade. O rendimento das culturas cai significativamente quando o teor de sais na solução do solo prejudica a absorção de água e nutrientes pelas culturas, resultando em perdas no crescimento, desenvolvimento e produção (Lacerda, 2005; Gheyi et al., 2005). Em geral, esses decréscimos estão associados à redução na capacidade fotossintética devido ao declínio na condutância estomatal (Sousa, 2006). A mamoneira é bem adaptada à região semiárida por ser capaz de produzir

satisfatoriamente sob pouca disponibilidade de água (tolerância à seca), mas também por não ter uma fase crítica na qual a falta d'água possa causar perda total da produção. No entanto, a resistência à seca da mamoneira não significa que sua produção não seja influenciada pela quantidade de água disponível no solo. Utiliza-se como referência a quantidade mínima de 500 mm de chuvas bem distribuídas ao longo do ciclo da cultura, desejando-se também que na época da colheita haja clima seco (Azevedo et al., 2001). Barros Junior et al. (2004) em estudos sobre respostas à deficiência hídrica determinaram reduções na altura da planta e no diâmetro do caule de mamona. Quando as plantas foram submetidas aos tratamentos de 40 e 60% de água disponível, praticamente paralisaram o seu desenvolvimento aos 60 dias após a semeadura.

A partir dos 30 DAE até os 45 DAE, pode-se observar que já há aumento da quantidade de água consumida pelas culturas, principalmente nos tratamentos com água de abastecimento e aqueles com níveis de salinidade mais baixos (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Volume de água aplicado (Vap) e drenado (Vad) por tratamento e consumo de água pelas plantas, aos 30 DAE e 45 DAE.

Tratamentos*	30 DAE			45 DAE		
	Vap (L)	Vad (L)	Consumo (L)	Vap (L)	Vad (L)	Consumo (L)
H₂O Embasa	729	6,23	722,77	2310	127,07	2182,93
0,8 dS m⁻¹	711	8,69	702,31	1900	93,04	1806,96
1,6 dS m⁻¹	711	1,78	709,22	1780	105,83	1674,17
2,4 dS m⁻¹	701	40,20	660,80	1570	116,60	1453,40
3,2 dS m⁻¹	691	61,47	629,53	1350	137,56	1212,44
4,0 dS m⁻¹	691	53,32	637,68	1220	140,99	1079,01
4,8 dS m⁻¹	671	91,12	579,88	1140	167,40	972,60

* Três repetições por tratamento

Observa-se decréscimo no consumo de água pelas plantas nos tratamentos com níveis de salinidade mais elevados, justificado pelo fato de que, quando as plantas sofrem estresse salino, podem causar fitotoxicidade e deficiência induzida em alguns nutrientes presentes em baixas concentrações afetando, deste modo seu crescimento e, por conseguinte, diminuição no consumo de água (Lauchli & Epstein, 1990).

Eriberto et al. (2007), em estudos com dois solos submetidos a irrigação com água salina, concluíram que as características químicas dos dois solos foram afetadas pela salinidade da água com aumento nos teores de sódio, na razão de adsorção de sódio e na percentagem de sódio trocável provocados pelos crescentes níveis de salinidade da água de irrigação. Segundo Rodrigues et al. (2008) a mamoneira pode ter tido dependendo da fase

fenológica, comportamento diferenciado no que diz respeito à eficiência da planta em produzir novas células e tecidos, de acordo com os resultados do experimento conduzido em ambiente protegido, em instalações pertencentes ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN/UFCG, em Campina Grande, PB, onde até os 90 dias após a semeadura a taxa de crescimento da altura da mamoneira aumenta linearmente em função dos níveis crescentes de reposição da água. As taxas de crescimento da cultivar BRS Nordestina foram significativamente maiores que as da BRS Paraguaçu nos períodos de 60 a 90 e 120 a 150 DAS. Nery et al. (2007) verificaram em recente pesquisa com pinhão manso sob condições de estresse salino que a taxa de crescimento absoluto em altura foi reduzida linearmente com o incremento da CEa ao utilizarem águas salinas com CEa entre 0,60 a 3,00 dS m⁻¹, além de ausência de efeito significativo para a taxa de crescimento relativo a altura.

Quando o experimento atingiu a etapa dos 60 DAE até os 79 DAE, (Tabela 5.3) as plantas não foram mais irrigadas e a tendência continuou sendo a de aumento do consumo de água nos tratamentos com menor nível de salinidade enquanto os de maior nível de salinidade apresentaram os menores consumos de água devido ao início da fase de maturação.

Tabela 5.3 - Volume de água aplicado (Vap) e drenado (Vad) por tratamento e consumo de água pelas plantas, aos 60 DAE e 79 DAE

Tratamentos*	60 DAE			79 DAE		
	Vap (L)	Vad (L)	Consumo (L)	Vap (L)	Vad (L)	Consumo (L)
H ₂ O Embasa	2230	167,32	2062,68	1372	289,25	1082,75
0,8 dS m ⁻¹	1800	188,90	1611,10	912	249,30	662,70
1,6 dS m ⁻¹	1760	219,15	1540,85	872	232,35	639,65
2,4 dS m ⁻¹	1610	227,87	1382,13	822	241,18	580,82
3,2 dS m ⁻¹	1400	244,23	1155,77	792	229,97	562,03
4,0 dS m ⁻¹	1230	224,41	1005,59	782	240,30	541,70
4,8 dS m ⁻¹	1050	220,01	829,99	692	238,10	453,90

* Três repetições por tratamento

Esses resultados evidenciam que o aumento da salinidade causa redução do consumo de água pelas plantas, provocando a redução do seu crescimento, ou seja, a relação entre salinidade da água de irrigação e o consumo de água está relacionada à redução do potencial osmótico da solução do solo, tornando-o mais negativo, devido ao aumento da concentração de sais solúveis o que traz como consequência a diminuição da absorção de água pelas plantas, provocando a chamada seca fisiológica. Cavalcanti et al. (2005), em estudos com mamoneira sob condições salinas (0,70 a 4,70 dS m⁻¹) observaram, aos 80 dias após a

germinação, que a salinidade da água de irrigação afetou significativamente a área foliar. Correia et al., (2005) notaram, em trabalho com estresse salino em amendoim, com CEa variando de 0,4 a 6,0 dS m⁻¹, que a salinidade afetou a altura das plantas com redução de 3,29% por incremento unitário da CEa. Silva (2004) & Correia et al., (2005) conduziram experimentos com cultivares de mamoneira e de amendoim em ambiente protegido e concluíram que o consumo de água decresceu progressivamente com o aumento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação.

A Tabela 5.4 apresenta o consumo de água, tanto de volume aplicado, como de volume drenado nos sete tratamentos, desde a emergência até os 79 DAE. O maior valor de volume de água aplicado foi no tratamento testemunha no qual se utilizou água de abastecimento e também teve o maior consumo. Por outro lado, o tratamento que teve menor volume aplicado e menor consumo foi o de concentração salina igual a 4,8 dS m⁻¹.

Tabela 5.4 – Consumo total de água pela mamona BRS Energia nos sete tratamentos desde a emergência até os 79 DAE, Senhor de Bonfim, BA.

Tratamentos	Consumo de água por tratamentos*			
	Vap (L)	Vad (L)	Consumo (L)	Lamina (mm)
H ₂ O Embasa	7043	637,88	6405,13	1525
0,8 dS m ⁻¹	5701	607,04	5093,96	1213
1,6 dS m ⁻¹	5501	614,82	4886,18	1163
2,4 dS m ⁻¹	5081	679,94	4401,06	1048
3,2 dS m ⁻¹	4611	744,24	3866,76	921
4,0 dS m ⁻¹	4301	718,32	3582,68	853
4,8 dS m ⁻¹	3931	769,02	3161,98	753

* Três repetições por tratamento

Apresentam-se na Figura 5.2 os resultados do consumo total de água, tanto em litros como em lâmina (mm), nos sete tratamentos, com suas respectivas repetições, desde a emergência até os 79 DAE. O consumo de água pela cultura estudada diminui na medida em que se eleva o nível de salinidade da água de irrigação. Ao longo dos últimos anos vários estudos sobre os efeitos da salinização no crescimento e desenvolvimento das plantas vêm sendo conduzidos; a exemplo de Carmo et al. (2003) que verificaram redução da altura da planta e do diâmetro do pseudocaule da bananeira Pacovan, em função do aumento da salinidade da água aplicada até 240 dias de cultivo, não tendo sido observada diferença aos 300 e 360 dias, indicando que o tempo utilizado para a medição dessas características pode não ter coincidido com o período de maior sensibilidade da cultura ou, ainda, o nível de sais

da água pode não ter sido suficientemente alto para ocasionar redução no crescimento vegetativo.

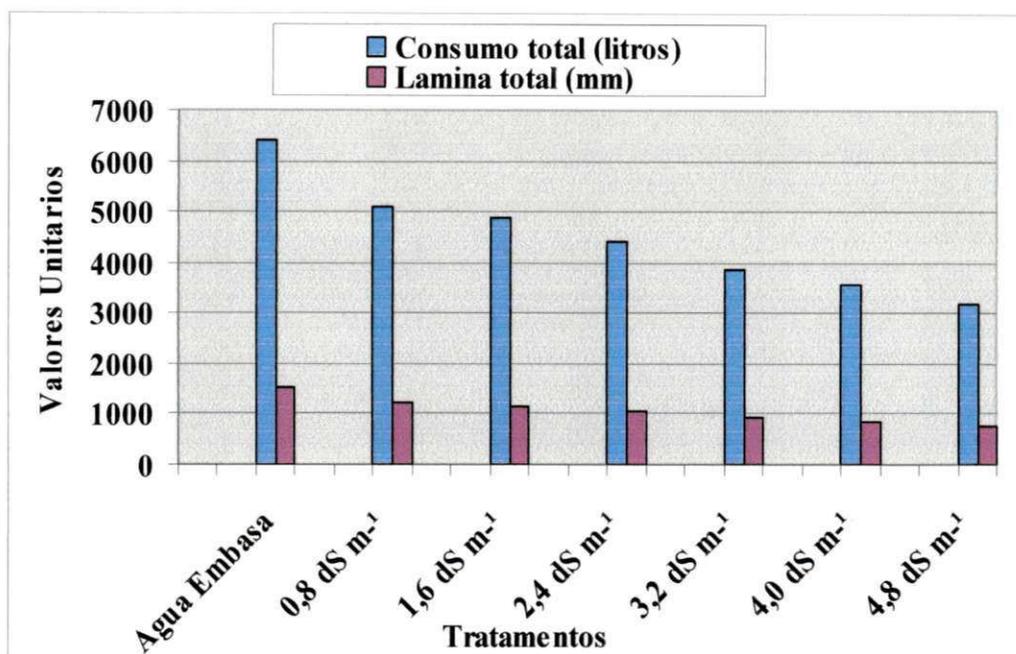


Figura 5.2 – Consumo total de água pela mamona BRS Energia nos sete tratamentos.

Cavalcanti et al. (2005) conduziram experimento com mamona BRS 149-Nordestina em ambiente protegido e verificaram que a área foliar da cultura foi afetada pela salinidade da água de irrigação, decrescendo linearmente por aumento unitário da CEa, em 26,20% quando comparados os dados de N1 e N5. Possivelmente, este decréscimo da área foliar, está relacionado com um dos mecanismos de adaptação da planta ao estresse salino, diminuindo a superfície transpirante.

5.1.2 – Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o)

Os resultados obtidos nas estimativas da evapotranspiração de referência mostraram uma pequena diferença entre os métodos utilizados. Observa-se que os valores médios de ET_o obtidos pelo método do lisímetro de grama e pelo método indireto de Hargreaves-Samani foram de 5,3 mm dia⁻¹ e 4,6 mm dia⁻¹, respectivamente, conforme se apresenta nas Figuras 5.3, 5.3a e 5.3b. Os dados de ET_o do lisímetro de grama foram utilizados para calcular o coeficiente de cultivo (K_c) da mamona BRS Energia dos diferentes tratamentos, utilizados desde o plantio até a emergência e, em seguida, a cada 15 dias após a emergência (DAE), totalizando 79 DAE.

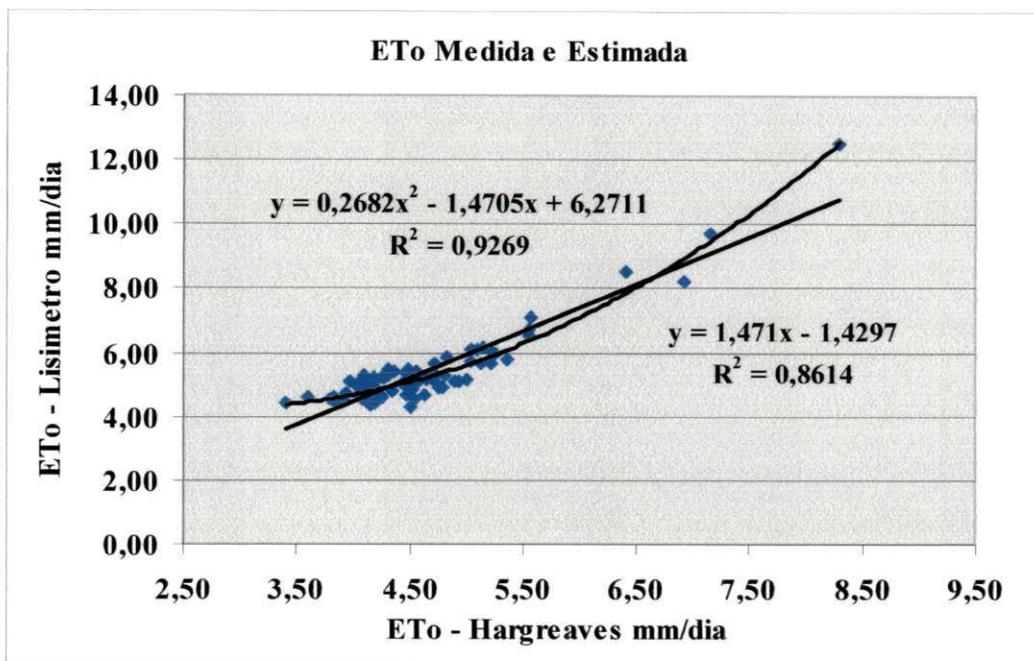


Figura 5.3 – Estimativas da evapotranspiração de referência (ETo): medida e estimada.

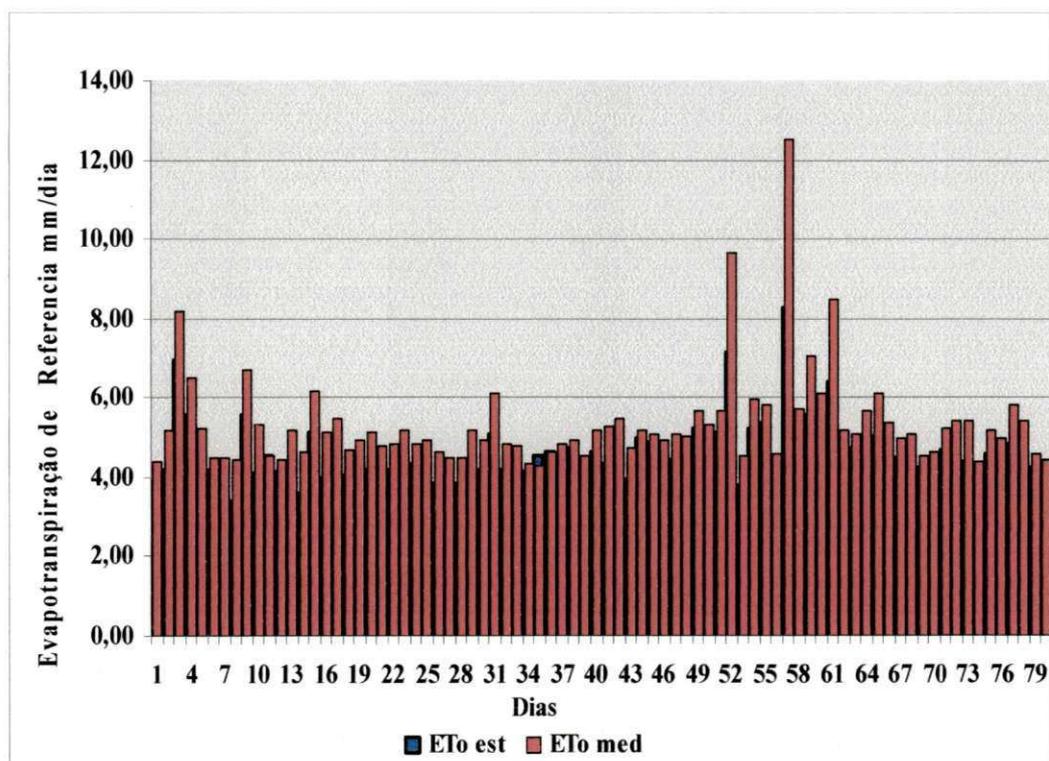


Figura 5.3a – Valores da evapotranspiração de referência (ETo) da mamona BRS Energia estimado e medido.

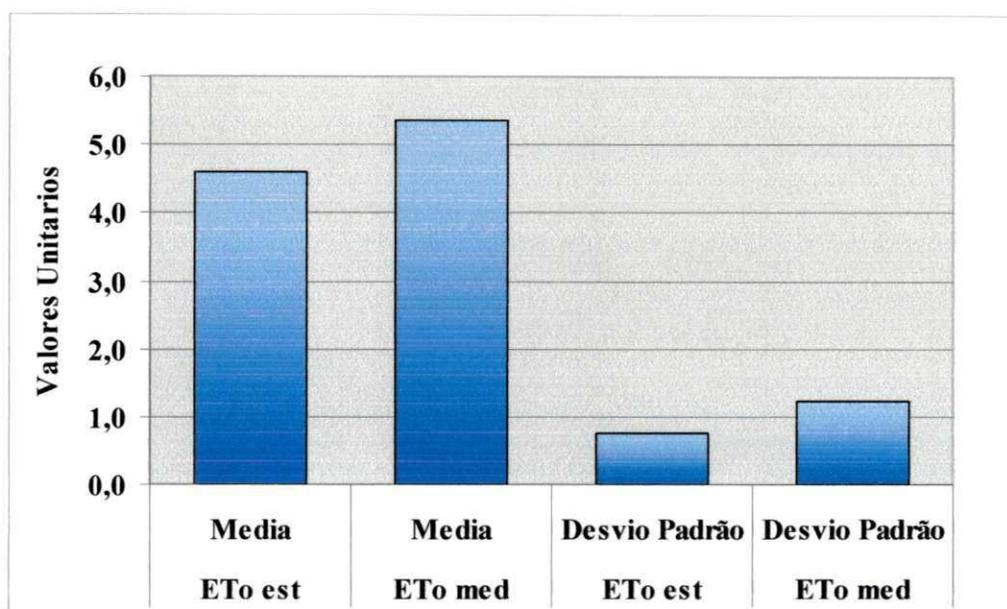


Figura 5.3b – Estimativas da evapotranspiração de referência (ETo).

Resultados similares foram verificados, também por Curi & Campelo Júnior (2004) em pesquisa com mamona cultivar Iris, no Mato Grosso, onde os autores não encontraram diferença significativa entre os métodos do Tanque Classe A e o método do lisímetro.

5.1.3 – Evapotranspiração da Cultura (ETc)

Os resultados das análises de variância da ETc estão apresentados na Tabela 5.5, em que se observa que as taxas de ETc diminuíram em relação ao incremento da condutividade elétrica da água de irrigação nos sucessivos períodos, ou seja, desde o plantio até os 79 DAE. Verifica-se que os efeitos da salinidade foram se intensificando ao longo do tempo e que a intensidade da evapotranspiração aumenta de acordo com a idade da planta, isto é, em função de seu crescimento e desenvolvimento.

Tabela 5.5 - Evapotranspiração da cultura da mamoneira do plantio à emergência, aos 15, 30, 45, 60 e 79 DAE em função de diferentes níveis de salinidade da água de irrigação

Tratamentos	Emergência	15 DAE	30 DAE	45 DAE	60 DAE	79 DAE
	-----mm-----					
H₂O Embasa	25,89 A	57,80 A	230,21 A	747,55 A	1283,99 A	1542,17 A
0,8 dS m⁻¹	20,18 A	51,77 BC	219,13 A	647,16 AB	1027,12 B	1193,02 B
1,6 dS m⁻¹	24,48 A	52,26 AB	221,12 A	615,79 B	979,89 B	1140,23 B
2,4 dS m⁻¹	25,10 A	50,48 BC	208,03 AB	552,76 BC	854,89 BC	1000,14 BC
3,2 dS m⁻¹	21,11 A	47,31 BC	196,82 AB	486,39 CD	734,31 CD	869,93 CD
4,0 dS m⁻¹	24,48 A	48,46 BC	200,52 AB	453,83 CD	684,86 CD	818,28 CD
4,8 dS m⁻¹	26,20 A	46,23 C	181,22 B	412,31 D	587,26 D	698,81 D
DMS	13,94	5,92	37,21	102,93	178,93	221,06
CV %	20,90	4,19	6,41	6,60	7,30	7,64

* As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade

Analisando-se os dados obtidos da ETc observa-se que após a aplicação das águas de irrigação com as concentrações salinas estabelecidas que, aos 15, 30, 45, 60 e 79 dias após a emergência das plântulas o aumento das concentrações de CE na água de irrigação conduziu a uma diminuição no seu crescimento, fato esse verificado no próprio local do experimento, conforme ilustra a Figura 5.4, na qual se visualiza parte das diferentes fases da cultura estudada.

As plantas que receberam água com o nível mais baixo da CE obtiveram crescimento mais satisfatório nas épocas avaliadas, enquanto o crescimento da cultura da mamoneira foi afetado nos solos em que se aplicou água com maiores concentrações de sais; deste modo, Silva et al. (2008) observaram que, com o aumento da salinidade da água, a partir de 4,7 dS m⁻¹ aos 80 e 100 DAS, o consumo diário de água pelas cultivares diminuiu. A redução no consumo de água pode estar relacionada diretamente a influência da salinidade da água de irrigação, que retarda a emissão de folhas, interfere no seu tamanho e afeta a área foliar. Esses resultados foram corroborados também por Silva et al. (2004a, 2004b) que em condições similares, verificaram que sempre que o teor da condutividade elétrica do solo aumenta ocorre, em consequência, uma diminuição do crescimento da mamoneira.

Observa-se também que o estresse salino exerce forte influência na extração da água do solo pelas raízes da cultura, na evapotranspiração e, por conseguinte, em todas as variáveis analisadas neste estudo. Em recente pesquisa com a mamoneira em ambiente protegido sob estresse hídrico, Rodrigues (2008) observou atraso de 10 dias no início da floração aos 72 e 82 dias nas plantas irrigadas com 120 e 60% da evapotranspiração e as maiores taxas registradas oscilaram entre 5,00 e 17,00 mm dia⁻¹.

Plântulas com 15 DAE.



Plântulas com 30 DAE.



Plantas com 45 DAE



Plantas com 60 DAE

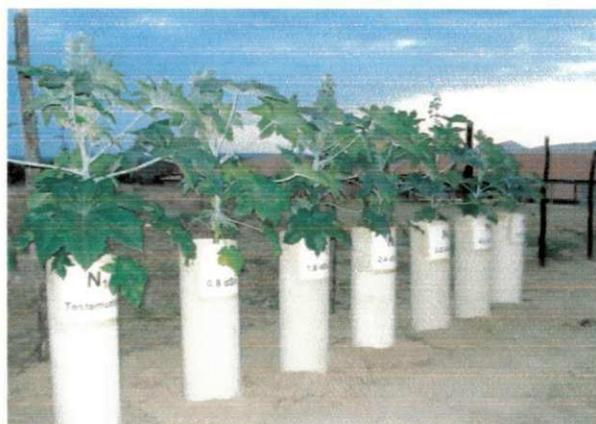


Figura 5.4 – Diferentes fases da mamona BRS Energia em função dos diferentes níveis de salinidade

Lima (1997) explica que as plantas sensíveis a salinidade tendem, em geral, a excluir os sais na absorção da solução do solo, mas não são capazes de realizar o ajuste osmótico e sofrem um decréscimo de turgor, levando as plantas ao estresse hídrico, por osmose. Embora o crescimento da parte aérea das plantas se reduza com o acentuado potencial osmótico do substrato do solo, a redução da absorção de água não é necessariamente a causa principal do crescimento reduzido das plantas em ambientes salinos.

5.1.4 – Coeficiente de cultivo (Kc), da mamoneira BRS Energia

Os resultados obtidos para o coeficiente de cultivo da mamona BRS Energia, estão apresentados a seguir, na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Coeficiente de cultivo da mamoneira, BRS Energia, do plantio à emergência, aos 15, 30, 45, 60 e 79 DAE, em função da salinidade da água de irrigação.

Tratamentos	Emergência	15 DAE	30 DAE	45 DAE	60 DAE	79 DAE
H ₂ O Embasa	0,29 A	0,41 A	1,32 A	2,67 A	3,20 A	1,82 A
0,8 dS m ⁻¹	0,25 A	0,37 ABC	1,27 AB	2,15 B	2,27 B	1,22 B
1,6 dS m ⁻¹	0,27 A	0,38 AB	1,29 A	2,01 BC	2,18 B	1,17 B
2,4 dS m ⁻¹	0,28 A	0,36 BC	1,19 AB	1,59 CD	1,82 BC	1,01 BC
3,2 dS m ⁻¹	0,24 A	0,34 BC	1,13 AB	1,46 D	1,49 CD	0,96 BC
4,0 dS m ⁻¹	0,28 A	0,35 BC	1,17 AB	1,29 D	1,40 CD	0,97 BC
4,8 dS m ⁻¹	0,29 A	0,33 C	1,03 B	1,17 D	1,07 D	0,75 C
DMS	0,16	0,04	0,25	0,43	0,63	0,42
CV %	21,29	4,34	7,56	8,72	11,67	13,25

* As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade

Os menores valores do Kc são identificados no início do experimento, apresentando valores relativamente baixos, em torno de um valor médio igual a 0,27, o qual corresponde ao período desde a semeadura até a emergência; em seguida esses valores vão crescendo paulatinamente, atingindo seus valores mais elevados aos 45 DAE e 60 DAE, o que corresponde a um valor médio igual a 1,92, sobretudo no tratamento testemunha irrigado com água de abastecimento (Embasa), em que se verifica o maior valor do Kc seguido dos dois primeiros tratamentos com os menores níveis de salinidade, CEa iguais a 0,8 e 1,6 dS m⁻¹, respectivamente. Para os demais níveis de salinidade os valores do Kc apresentados são bem menores, seguindo um comportamento constante e próximo a 1,0. O valor médio do Kc estimado a partir dos dados da ETo do lisímetro de grama desde a emergência até os 79 DAE foi igual a 1,11. O comportamento do Kc referente às diferentes fases de desenvolvimento da cultura encontra-se na Figuras 5.5, a seguir.

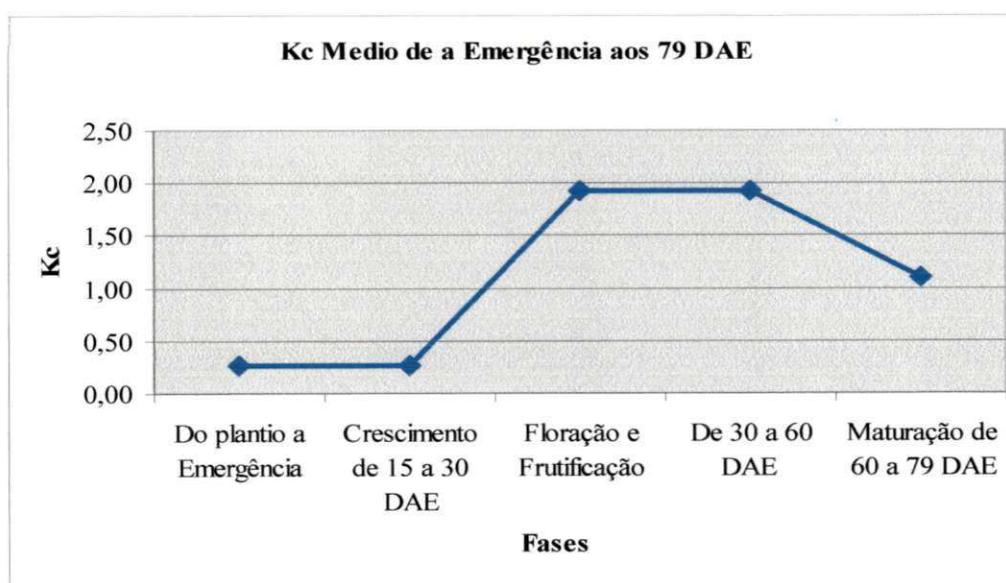


Figura 5.5 – Comportamento do coeficiente de cultivo médio (Kc), da mamona BRS Energia em função dos diferentes níveis de salinidade, desde a emergência até os 79 DAE

Resultado semelhante foi obtido com o valor de Kc médio igual a 0,72 referente a toda a fase de desenvolvimento da cultura, com a cultivar Íris, por Curi & Campelo Júnior (2004) em experimento conduzido em Santo Antônio do Leverger, MT. Teixeira et al. (2002) determinaram o coeficiente de cultura da bananeira através da razão de Bowen no Vale do Rio São Francisco, em Petrolina, PE, para dois ciclos de produção e encontraram valores de coeficiente de cultura variando entre 0,6 e 1,1 no primeiro ciclo e no segundo ciclo e o coeficiente de cultura variou entre 1,1 e 1,3, respectivamente. No ano seguinte os autores determinaram o coeficiente de cultura da goiabeira no Vale do Rio São Francisco durante os ciclos de produção e colheita através do método da razão de Bowen. O Kc apresentou valores variando entre 0,61 e 0,84. Segundo os autores, os valores mínimos do coeficiente de cultivo ocorreram na fase de crescimento vegetativo e os máximos na fase de crescimento dos frutos. Junior et al. (2008) em experimento conduzido no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, no Município de Alvorada do Gurguéia, PI, concluíram que o Kc da mamoneira em consórcio com o feijão-caupi apresentou valores máximos de 1,20, dos 51 aos 60 DAP, coincidindo com o período de formação e enchimento de vagens do feijão-caupi.

5.1.5 – Rendimento da cultivar BRS Energia e o uso eficiente da água.

Na Tabela 5.7 se encontram os resultados das análises de variância referentes às produtividades obtidas da mamona BRS Energia em casca e em semente e da eficiência de uso de água durante o experimento, desde o plantio até os 79 DAE, com seus respectivos níveis de salinidade.

Tabela 5.7 - Rendimento de mamona em casca e em semente e eficiência de uso de água na cultura da mamoneira em função da salinidade da água de irrigação.

Tratamentos	Produtividade de mamona em casca	Produtividade de mamona semente	Eficiência de uso de água
	kg ha ⁻¹		kg m ⁻³
H ₂ O Embasa	9.929 A	7.167 A	0,46 A
0,8 d Sm ⁻¹	7.786 AB	5.619 AB	0,47 A
1,6 d Sm ⁻¹	7.405 BC	5.548 AB	0,48 A
2,4 d Sm ⁻¹	7.571 ABC	5.187 BC	0,52 A
3,2 d Sm ⁻¹	6.310 BC	4.595 BC	0,52 A
4,0 d Sm ⁻¹	5.262 C	3.857 BC	0,47 A
4,8 d Sm ⁻¹	5.167 C	3.524 C	0,50 A
DMS	2454,87	1836,21	0,15
CV %	12,47	12,99	10,64

Verifica-se, pelo teste Tukey, que houve diferença significativa em nível de 1% de probabilidade para os resultados das produtividades dos grãos em casca e semente, quando submetido ao fator lâmina de água e cujos valores têm comportamento decrescente, ou seja, inicialmente com o tratamento testemunha, utilizando-se água de abastecimento até o nível de salinidade correspondente a CEes de $4,8 \text{ dS m}^{-1}$, denotando que o excesso de sais solúveis na solução do solo prejudica o desenvolvimento das plantas, devido à diminuição do potencial osmótico que, com o potencial mátrico, definem em seu conjunto todas as forças que as raízes das plantas desenvolvem para poder vencer a absorção de água do solo provocando, no entanto, efeitos altamente significativos nas suas produtividades.

Referente aos resultados da eficiência de uso de água da cultura estudada, pode-se observar claramente que não houve diferença significativa a nível de 5% de probabilidade desde o tratamento com água de abastecimento (Embasa) até o nível de $4,8 \text{ dS m}^{-1}$ em todo o ciclo da cultura, afirmando, com isso, que o volume de água aplicado nos tratamentos está diretamente relacionado com o próprio rendimento da cultura, ou seja, para o tratamento em que se utilizou água de abastecimento (testemunha) e a cultura utilizou maior quantidade de água para maior produção, vez que a planta teve maior crescimento e melhor desenvolvimento quando comparada com as que foram irrigadas com os diferentes níveis de salinidade, já que elas apresentaram menor crescimento e desenvolvimento, indicando baixa utilização da água.

As concentrações de sais afetaram não apenas o desenvolvimento, mas também a produção da cultura, efeito que se manifesta principalmente na redução da população e do desenvolvimento dos frutos, com sintomas similares aos de estresse hídrico. De modo geral, a salinidade do solo, causada pela irrigação com água salina como pela combinação de fatores água, solo e manejo das culturas pode resultar em aumento nos dias para colheita, redução na quantidade e diminuição do peso dos frutos e sementes, influenciando diretamente a produção (Rhoades et al., 2000). Isto foi observado durante o estágio final do experimento, nos tratamentos em que se utilizou água com concentração salina mais elevada. Nesse mesmo sentido, Lima et al. (2007) concluíram em experimento desenvolvido em Casa de Vegetação do Departamento de Ciências Ambientais na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) que a cultura da mamoneira foi sensível à presença de sais na água de irrigação uma vez que há tendência de diminuir o seu desenvolvimento vegetativo com o aumento da salinidade da água de irrigação. Dias et al. (2003) afirmam que o excesso de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas, além de trazer problemas, como o efeito de

íons tóxicos específicos sobre a fisiologia vegetal, a tal ponto de afetar seu rendimento e a qualidade da produção.

6. CONCLUSÕES

- O consumo total de água da mamoneira cultivar BRS Energia se reduz em função do incremento do nível de salinidade da água de irrigação, com percentual de 86,8% entre o volume de água aplicado e o volume de água consumido, em relação aos sete tratamentos da pesquisa.
- O período que correspondeu ao maior consumo de água foi entre os 30 e 60 DAE, observado em função dos dados obtidos do K_c que, para este período, foi de 1,92; coincidindo com a formação e enchimento dos cachos da mamoneira, o valor do K_c médio em todo o período da cultura foi de 1,11.
- Os resultados que se obtiveram com relação à produtividade foram considerados excelentes e, em média foram de 7.061,43 kg ha⁻¹ de grãos de mamona em casca e de 5.071 kg ha⁻¹ de mamona em semente; o que confirma então, que a cultivar BRS Energia é tolerante à salinidade.
- O valor médio observado na eficiência de uso de água pela cultura da mamona BRS Energia nos sete tratamentos foi de 0,49 kg m⁻³, não apresentando com isso efeito significativo da cultivar quanto ao uso eficiente da água.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. (FAO, Boletim 39, Irrigation and Drainage Paper) Roma, 1982. 68p.
- ADAMS, P.; THOMAS, J. C.; VERNON, D. M.; BOHNERT, H. J.; JENSEN, R. G. **Distinct cellular and organismic responses to salt stress**. *Plant and Cell Physiology*, 33: p. 1215-1223. 1992.
- AGUIAR, J. V.; ANGELOCI, L. R.; FOLEGATTI, M. V. **Relação entre a evaporação e a umidade de um solo Bruno não Cálcico sem vegetação, em condições semi-áridas**. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 6, p.229-233, 1998.
- ALENCAR, R. D.; PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; HOLANDA, J. S. PORTO, V. C. N.; FERREIRA NETO, M. **Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina**. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande*, v.7, n.2, p.221-226, 2003.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. (FAO, Boletim 56, Irrigation And Drainage Paper) Roma, 1998, 300p.
- ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S. **An update for the calculation of reference evapotranspiration**. *ICID Bulletin, New Delhi*. 43, n.2, pp.35-90, 1994a.
- ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PERIER, A. **An update for the definition of reference evapotranspiration**. *ICID Bulletin, New Delhi*, v. 43, n.2, pp. 1-31, 1994b.
- ALLEN, R.G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L. **Operational estimates of reference evapotranspiration**. *Agronomy Journal, Madison*, v. 81, n.4, pp. 650-662, 1989.
- AMORIM, J. R. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C. **Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v. 37, n. 2, pp. 167-176, 2002.
- ANDRADE, E. M.; D'ALMEIDA, D. M. B.; MEIRELES, A. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; ARRUDA, F. E. R. **Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, CE**. *Revista Ciência Agronômica*, v.35, n.1, p.9- 16, 2004.
- ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, EVERARDO. V. S. B.; OLIO, A. D.; SALCEDO, I. H. **Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do nordeste do brasil**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v.4, n.1, p.29-34, 2000.
- ARAGÜES, R. **Agricultura de regadío, calidad del agua y flujos de retorno**. IN: *Symposium Nacional Presente y Futuro de los Regadíos Españoles*. CEDEXMOPTMA. Madrid, 18 p, 1994.

ARAÚJO, D. C. de.; SÁ, J. R. de.; LIMA, E. M. de.; CAVALCANTE, L. F.; BRUNO, J. B.; BRUNO, R. de L. A.; QUEIROZ, M. S. de. **Efeito do volume de água e da cobertura morta sobre o crescimento inicial do maracujazeiro amarelo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n.1, p. 121 – 124, 2000.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão do Nordeste: caracterização, variação sazonal, limitação do uso.** Recife: CNPq. 1995.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** Tradução de GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 218p.

AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 350 p.

AZEVEDO, D. M. P de.; NÓBREGA, L. B.; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Manejo Cultural. In: AZEVEDO, D. M. P. de ; LIMA, E. F.; **O agronegócio da mamona no Brasil.** Embrapa Algodão. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, p.121-160.

AZEVEDO, P. V. de; RAMANA RAO, T. V.; AMORIM NETO, M. da S. **Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 28. n.7, p.863-870, 1993.

BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G. A irrigação no mundo. IN: BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. Irrigação e drenagem na empresa agrícola. 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. cap.1, p.13-45.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D de.; CAVALCANTI, M. L. F.; BARROS, A. D. de. Análise de crescimento da mamoneira submetida ao estresse hídrico. IN: Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Sustentabilidade, Campina Grande, 2004.

BELTRÃO, N. E. M. de.; MELO, F. de B.; CARDOSO, G. D.; SEVERINO, L. S. **Mamona: árvore do conhecimento e sistemas de produção para o semi-árido brasileiro.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. 19p.

BELTRÃO, N. E. de M; SILVA, L. C.; MELO, F. B. **Cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) consorciada com feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) para o semi-árido nordestino, em especial do Piauí.** Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 44p. 2002.

BELTRÃO, N. E. M. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. L. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p.37-61.

BEN-HUR, M.; LI, F. H.; KEREN, R.; RAVINA, I.; SHALIT, G. **Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions.** Soil Science American Journal. v.65, p.191-198, 2001.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, 2006, 625p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa, 2005, 611p.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. IN: SILVA, D. D.; PRUSKI, F.F. (Eds.). Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável da Agricultura. Viçosa: MMA, SRH, ABEAS, UFV, 1997, 252p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, 1995, 657p.

BERNSTEIN, L. **Effects of salinity and sodicity on plant growth**. Annual Review of Plant Pathology. Stanford, v.13, p.295-312, 1975.

BEZERRA, E. L. Evapotranspiração na cultura da mamoneira. 2004. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Cuiabá.

BEZERRA, F. M. L., FREITAS, A. A., OLIVEIRA, C. H. C. Evapotranspiração máxima da acerola (*Malpighia Glaba L.*) no primeiro ano de produção. IN: Anais - Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, p. 671-672, 1997.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. 1999. 104p. Dissertação de Mestrado. ESALQ: Piracicaba - SP.

BOUCHET, R. J. **Evapotranspiration reele evapotranspiration potentielle et production agricole**. Annales Agronomiques. v.14, n.5, p. 743-824, 1963.

CAMPOS, J. N. B. Vulnerabilidades Hidrológicas do Semi-Árido às Secas. IN: Planejamento e Políticas Públicas n. 16, pp 261-298, FBDS. Rio de Janeiro, RJ. 1997.

CARMO, G. A.; MEDEIROS, J. F.; TAVARES, J. C. **Crescimento de bananeiras sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação**. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal, v. 25, n.3, p. 513-518, 2003.

CARVALHO, O.; EGLER, C. A. G. **Alternativas de desenvolvimento para o Nordeste Semi-Árido**. Ministério da Fazenda, Banco do Nordeste do Brasil. 204 p. 2003.

CARVALHO, J. A.; PEREIRA, G. M.; ANDRADE, M. J. B.; ROQUE, M. W. **Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão Caupi (*vigna unguiculata (L.) Walp.*)**. Ciência Agrotécnica, Lavras, v.24, n.3, p.710-717, 2000.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999, 224p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG.

CASTILHO, C. P. G. **Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* ssp.)**. 256p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

CAVALCANTE, L. F.; FEITOSA FILHO, J. C.; ALVES, G. S.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, I. H. L. **Fertirrigação e seus efeitos na salinidade dos solos em condições de campo e de ambiente protegido**. IN: Congresso Brasileiro de Fertirrigação. João Pessoa-PB: 2003b. CD/ROM.

CAVALCANTE, L. F.; LIMA, E. M. de.; CAVALCANTE, I. H. L. **Possibilidade do uso de água salina no cultivo do maracujazeiro-amarelo**. Areia: Editorações Gráficas Diniz, 42p. 2001a.

CAVALCANTI, M. L. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; JÚNIOR, G. B.; SOARES, F. A. L.; SIQUEIRA, E. C. da. **Índices ecofisiológicos da mamoneira sob estresse salino**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v.9, p.66-70, 2005.

CHEESEMAN, J. M. **Mechanism of salinity tolerance in plants**. Plant Physiology, 87: p.547-550. 1988.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, M. A. **Balanço Hídrico no Solo para porta-enxertos de Citros em Ecossistema de Tabuleiro Costeiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.1, p.23-28, 2000.

CLARK, P. B.; ALBREGTS, E. E.; STANLEY, C. D. **Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants**. Transaction of ASAE. St. Joseph, v. 39, n. 3, p.905-912, 1996.

CORREIA, K. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; RODRIGUES, L. N.; NERY, A. R. **Relações hídricas e produção em plantas de amendoim irrigadas com águas salinas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9., p.86-89, 2005.

CURI, S.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. **Evapotranspiração e coeficientes de cultura da mamoneira (*Ricinus communis* L)**, em Santo Antônio do Leverger-MT. IN: I Congresso Brasileiro de Mamona – Energia e Sustentabilidade, Campina Grande-PB, 2004.

DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. L.; MATOS, J. A.; GUERRA, H. O. C. **Necessidades hídricas e eficiência de uso de água pelo capim buffel**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, p.25-28, 1996.

D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A.A. C. M.; NESS, R. L. L. **Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará**. Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.25, n.3, p.615-621. 2005.

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. 2004. 110p. Tese de Doutorado. ESALQ/USP. Piracicaba-SP.

DIAS, N. S.; GHEYI, H. R.; DUARTE, S. N. **Prevenção, manejo e recuperação dos solos afetados por sais**. Piracicaba: ESALQ/USP. Série Didática, 13,118p, 2003.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande-PB. UFPB, pp.306-310, 1994. (Tradução FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Rome: FAO, 1979. 212 p. (Riego y drenage, Boletín 33,).

DOORENBOS, J.; PRUIT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1975; 1977, 198 p.. (Irrigation and Drainage paper 24).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual de métodos de análises do solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 212p.1997.

ERIBERTO, V. S. F.; JOSIMAR, G. F.; MILTON, C. C. C.; MARIA, B. G. S. F. dos. **Alterações nos Atributos Físicos e Químicos de dois Solos Submetidos à Irrigação com Água Salina**. Revista de Biologia e Ciências da Terra. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, v.7, n. 1, p. 21-28, 2007.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. IN: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Eds.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB-SBEA. Cap. 11, p. 363-383. 1997.

FAO: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em <<http://www.fao.org/>> acesso em 05/05/2009.

FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; HOLANDA, J. S.; MEDEIROS, J. F.; FERNANDES, P. D. **Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental. Campina Grande, v.6, n.1, p.69-75, 2002.

FERREIRA, P. A. **Qualidade de água e manejo água-plantas em solos salinos**. Brasília, DF: ABEAS, Viçosa-MG. UFV, Departamento de Engenharia Agrícola. (ABEAS: Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação. Módulo 10). 111p. 2001.

FLOWERS, T. J.; TROKE, P. F.; YEO, A. R. **The mechanism of salt tolerance in halophytes**. Annual Review of Plant Physiology, 28: p. 89-121. 1977.

FREIRE, R. M. M.; SOUSA, R. de L.; SALDANHA, L.; MILANI, M. Avaliação da qualidade do óleo de mamona de diferentes genótipos. IN: II Congresso Brasileiro de Mamona. Aracaju-SE. CD ROM, 2006.

FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica. IN: AZEVEDO, D.M.P.; LIMA, E.F. (Eds.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.295- 334. 2001.

FONTANA, D. C. Determinação da Evapotranspiração. IN: BERGAMASCHI, H. (Coord.), Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: UFRGS, cap. 4, pp. 48-61. 1992.

GHEYI, H. R.; CORREIA, K. G. FERNANDES, P. D. Salinidade do solo e crescimento e desenvolvimento das plantas. IN: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (eds.). Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas. Recife-PE. 2005, p.138-154,

GHEYI, H. R.; LUZ, M. J. S.; BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G. Qualidade da água para irrigação. IN: BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. Irrigação e drenagem na empresa agrícola. 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004, p.331-377.

GHEYI, H. R.; Efeitos dos sais sobre as plantas. IN: FAGEIRA, N. K. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: 1997.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1997.

GORHAM, J.; HUGHES, L. L.; WYN JONES, R. G. **Low-molecular-weight carbohydrates in some salt-stressed plants**. *Physiologia Plantarum*, 53: p.27-33. 1981.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. **Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes**. *Annual Review of Plant Physiology*, 31: p.149-190. 1980.

GULZAR, S.; KHAN, M. A.; UNGAR, I. A. **Salt tolerance of a coastal salt marsh grass**. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: p. 2595-2605, 2003.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. **Reference crop evapotranspiration from temperature**. *Applied Engineering Agriculture*, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BOHNERT, H. J. **Plant cellular and molecular responses to high salinity**. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: p.463-499. 2000.

HILLEL, D. **Salinity management for sustainable irrigation**. Washington: World Bank. 92p. 2000.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A. Qualidade da água para irrigação. IN: Gheyi, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (ed). Manejo e controle da salinidade da agricultura. Campina Grande: UFPB, SBEA, p.137-169. 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://ftp.ibge.gov.br/producaoagricola>

IPCC. **Climate Change 2007**. Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. 2007. Working Group II. AR4: Summary for Policymakers. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2007gl/index.htm>

IYENGAR, E. R. R.; REDDY, M. P. Photosynthesis in highly salt tolerant plants. IN: M. Pesserkali (eds.). Handbook of photosynthesis. Marshel Dekar, Baten Rose, USA. 952 p. 1996.

JAYAKUMAR, M., SASEENDRAN, S. A., HEMAPRABHA, M. **Crop coefficient for coconut (Cocos nucifera L.): A lysimetric study.** Agricultural and Forest Meteorology. Amsterdam, v.1, n. 43, p. 235-240, 1987.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; E. ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requeriments.** ASCE, Manuals and Reports on Engineering Practice n. 70, New York. 332p. 1990.

JUNIOR, A. S. A. de.; MELO, F. B. de.; MASCHIO, R.; RIBEIRO, Q. V.; MORAIS, E. L. C. da. Coeficientes de cultivo da mamoneira em sistema monocultivo e consorciado com feijão caupi. IN: III Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Ricinoquímica. Salvador-BA. 2008.

KATERJI, N.; VAN HORN, J.W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. **Salt tolerance classification of crops according to soil and to water stress day index.** Agricultural Water Management. n. 47, p.99-109, 2000.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera.** 2ª ed. São Paulo: Nobel, 408p.1988.

LACERDA, C. F. Interação salinidade x nutrição mineral. IN: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (eds.). Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas. Recife-PE, 2005, p.127-137.

LAZOF, D. B.; BERNSTEIN, N. **Effects of salinization on nutrient transport to lettuce leaves: consideration of leaf developmental stage.** The New Phytologist. 144, n. 1, p. 85-94, 1999.

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

LIMA, C. B.; FILHO, S. V. S. dos.; SANTOS, M. A. dos.; OLIVEIRA, M. de. **Influência da Água Salina nas Características Físico-Químicas do Solo e no Desenvolvimento da Mamoneira Cultivada em Vasos.** Revista Caatinga, Mossoró, v.20, n.4, p.132-136, 2007.

LOPES, A. S.; PAVANI, L. C.; CORA, J. E.; ZANINI, J. R.; MIRANDA, H. A. **Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional.** Engenharia Agrícola, v. 24 n.1. Jaboticabal. 2004.

LOPEZ, P. I. Calidad de las aguas subterranas y normativas para diferentes usos: contaminación e protección. IN: V Máster Internacional de Riego y Drenaje. Madrid. 67p. 2000.

MALTEZ, H. T.; MALTEZ, M. G. L.; BASTOS, T. X.; DINIZ, T. D. de A. S. Avaliação da evapotranspiração potencial a região de Belém-Pará. IN: Simpósio do Trópico Úmido. Belém-PA. Anais: Embrapa-Cpatu, 1986, pp. 56-57.

MANTOVANI, E. C. **Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego:** estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos. Universidad de Córdoba, Córdoba, España, 1993. 184p.

MÁRCIO, J. S. de.; JACINTO, A. C. de.; ÉLIO, L. S. da.; DOUGLAS, S. M. da. Efeito da irrigação com água salina em um solo cultivado com o feijoeiro. *Ciência Agrotécnica*, Lavras. v.27, n.2, p.443-450, 2003.

MATZENUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. IN: Bergamaschi, H. (Coord.). *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre: Ed. UFRGS. Cap. 3. pp. 31-39, 1992.

MEDEIROS, J.F.; PEREIRA, F.A.C.; PEREIRA, A.R. Comparação entre evaporação em tanque classe A padrão e mini-tanque, instalados em estufas e estação meteorológica. IN: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Piracicaba. SBA, p.228-230, 1997.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. **A qualidade da água de irrigação**. Campina Grande: UFPB, 1994. 60p.

MELHORANÇA, A.L.; STAUT, L.A. **Indicações técnicas para a cultura da mamona no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 65p.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE/DPG/PRN/DPP/APR, 523p. 1992.

MUNNS, R. **Genes and salt-tolerance: bringing them together**. *New Phytologist*, 3: 645-663, 2005.

MUNNS, R. **Comparative physiology of salt and water stress**. *Plant, Cell and Environment*, v. 25, p. 239-250, 2002.

NERY, A. R.; SILVA, M. B. R.; RODRIGUES, L. N.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; VIEGAS, R. A. Taxas de crescimento do pinhão manso cultivado com água de diferentes níveis de salinidade. IN: Workshop: Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada. Convivência em Busca da Sustentabilidade: Anais. Recife-PE. 2007.

NOAMAN, M. N.; EL-HADDAD, E. S. **Effects of irrigation water salinity and leaching fraction on the growth of six halophyte species**. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, v.135, p.279-285, 2000.

NOBLE, C. L.; ROGERS, M. E. **Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops**. *Plant and Soil*, v. 146, n. 1/2, p. 99-107, 1992.

NOBRE, C. A.; LAPOLA, D.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F.; CARDOSO, M.; OYAMA M., 2007. Mudanças Climáticas e Possíveis Alterações nos Biomas da América do Sul. IN: Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima

Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas - SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade - DCBio.CPTEC/INPE, IAE/CTA, São Paulo, Brasil.

NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S.; MARENGO, J. A.; SALATI E. **Impacts of climate change scenarios for 2091-2100 on the biomes of South America**. First International Conference, Baltimore-USA. 2004.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA, J. F. W. F.; MARQUES, F. A. **Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia-PE**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.37, p.1477-1486, 2002.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. IN: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. M. (eds) Manejo e Controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB-SBEA, 1997. Cap. 1, p.1-36.

PAVANI, L. C. **Evapotranspiração e produtividade em feijoeiro comum (Phaseolus Vulgaris L. cv. Goiano Precoce) sob três níveis de potencial de água no solo**. 1985. 171p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba-SP.

PENMAN, H. L. **Evaporation: an introductory survey**. J. Agric. Sci. v. 4, 1956, pp. 9-29.

PENMAN, H. L. **Natural evaporation from open water, bare soil and grass**. Proceeding of the Royal Society of London, v. 193, n. 1032, 1948, pp. 120-146.

PEREIRA, F. S. G. **Biomassa de oleaginosa como fonte alternativa de energia (Ricinus communis L.)**. 2007, 98 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Recife-PE.

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

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. **Novas aproximações aos coeficientes culturais**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.16, n.4, p.118-43, 1997.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N.; SEDIYAMA, G. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ. 183 p.1997.

PERES, J. R. R.; JUNIOR, E. F. de; GAZZONI, D. L. **Biocombustíveis: uma oportunidade para o agronegócio brasileiro**. Revista de Política Agrícola, Brasília-DF, Ano XIV, n.1, p. 31-41, 2005. Disponível em: <<http://www.agronegocios-e.com.br/agr/down/artigos/Pol-Agr.1-2005.art05.pdf>>. Acesso em: 25/05/2009 >.

PESSOA, N. S. da. **Balanco Hídrico**. Coordenadorias de Assistência Técnica Integral. Campinas-SP. 1992.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478p.

REICHARDT, K. **Dinâmica de material e da energia em ecossistemas**. Piracicaba, SP: USP/ESALQ, 1996. 505p.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência do Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. 4ª ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 446p.

REVISTA BIODIESEL. São Paulo, n.23, p. 32-33, 2007.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **O uso de águas salinas para produção agrícola**. Tradução: H. R. Gheyi, J. R. de Souza, J.E. Queiroz. Campina Grande: UFPB. 117p. 2000.

RODRIGUES, L. N.; NERY, A. R.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M. Taxas de crescimento em altura da mamoneira submetida ao estresse hídricosalino. **IN: III Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Ricinoquímica**. Salvador-BA. 2008.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação no nordeste brasileiro. *Revista GEOUSP. Espaço e Tempo*, São Paulo, Nº 11, pp.115-126, 2002.

SANTOS, D. B. dos. **Efeitos da salinidade sobre características químicas do solo, aspectos nutricionais, fisiológicos e de produção no feijoeiro irrigado**. 2005. 78p. Tese de Doutorado. Viçosa-MG.

SANTOS, A. C. dos; BRESSAN FILHO, Â.; GAZZONI, D.; CONTINI, E.; ABREU, F. R.; VIEIRA, J. N. S. de.; RAMALHO, J.; MAGALHÃES, L. J. d'A. **Plano nacional de agroenergia: 2006-2011**. Brasília, s. n., 120 p., 2005.

SANTOS, R. F.; BARROS, M. A. L.; MARQUES, F. M.; FIRMINO, P. de T.; REQUIÃO, L. M. G. **In: AZEVEDO, D. M. P. de.; LIMA, E. F. O Agronegócio da mamona no Brasil: análise econômica**. Embrapa Informação Tecnológica. Campina Grande-PB. p. 17-35, 2001.

SANTOS, J. G. R. **A Salinidade na agricultura irrigada: Teoria e Prática**. 171p. 2000.

SANTOS, J. B. dos. **Produção e qualidade de mudas de maracujazeiro-amarelo irrigado com água salina**. 1999. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia): Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia - PB.

SAVY FILHO, A. **Mamona tecnologia agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005. 105p.

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

SEDIYAMA, G. C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília, ABEAS, 1987. 143p.

SELLERS, W. D. **Physical Climatology**. The University of Chicago Press, 1985, 227 p.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba-SP. Universidade de São Paulo. Departamento de Ciências Exatas, 1999. pp. 46-70.

SEVERINO, L. S.; MORAES, C. R. A.; FERREIRA, G. B.; CARDOSO, G. D.; GONDIM, T. M. S.; BELTRÃO, N. E. M.; VIRIATO, J. R. **Crescimento e produtividade da mamoneira sob fertilização química em região semi-árida**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 62).

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, W. S. A.; CASTRO, D. A.; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. M. **Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.563-568, 2006.

SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. M. de; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L. **Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v.12, n.4, p.335-342, 2008.

SILVA, S. D. A. dos. **A cultura da mamona no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007c. 115p. (Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção, 11).

SILVA, S. M. S. **Germinação, crescimento e desenvolvimento de genótipos de mamoneira irrigados com águas salinas**. 2004. 74p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB.

SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. M. de.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L.; SANTOS, I. S. S. Fitomassa da mamoneira irrigada com águas de diferentes salinidades. IN: I Congresso Brasileiro de Mamona, Campina Grande-PB. 2004a.

SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. DE M.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L.; SANTOS, I. S. S. Componentes da produção da mamoneira em diferentes cultivares de mamoneira irrigada com água salina. IN: I Congresso Brasileiro de Mamona, Campina Grande: 2004b.

SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V. Determinação da evapotranspiração do campim Tanzânia, utilizando um sistema automático de razão de Bowen e um lisímetro de pesagem. IN: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12. Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, Fortaleza-CE. 2001. Anais. v.2. 923p.

SILVA FILHO, S. B.; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. A.; LIMA, E. M; COSTA, J. R. M. **Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação**. Irriga. Botucatu, v.5, n.2, p.112-25, 2000.

SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. 2000. 126p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB.

SILVA JUNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. **Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

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

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. H. **Assessment of the surface water quality in Northern Greece**. Water Research. v.37, p.4119-4124, 2003.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**: Rome: FAO, 1991, 54p.

SOUSA, G. B. **Interação biofertilizante x salinidade x volume de substrato na germinação e crescimento inicial do maracujazeiro-amarelo**. 2006. 78p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Areia – PB.

SOUZA, L. D.; GISBERT – BLANQUER, J. M.; GOMEZ, M. L. D. Lixiviação de sais em solo salino-sódico irrigado por inundação e tratado com polímeros sintéticos. IN: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 11. Fortaleza. Anais... Ceará: ABID, 2001, p.183-187.

STEWART, J. L., DANIELSON, R. E., HANKS, R. J., JACKSON, E. B., HAGON, R. M., PRUIT, W. O., FRANKLIN, W. T., RILEY, J. P.,. **Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil**. Utah Water Research Lab. PR. 151-1, Logan, Utah, 191 p. 1977.

STEGMAN, E. C. Efficient water scheduling regimes to corn production. IN: Perrier, A., Riou, Ch. (Eds.), Crop Water Requirements, Institute National de la Recherche Agronomique, Paris, p.635-648. 1985.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. **Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.3, p.473-81, 2001.

SUDENE. **Pacto Nordeste: ações estratégicas para um salto do desenvolvimento regional**. Recife, 1996. 77p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3ª ed., Porto Alegre: Artmed. 2004. 719p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. The Benjamin/Cummings Publishing, Redwood City, California. 363p. 1998.

TANJI, K. K. **Nature and extend of agricultural salinity in: Agricultural salinity assessment and management**, Tanji, K. K., ASCE. Manual and reports on engineering practice: New York, N. Y., 619p, n°71, p.1-17.1990.

TAYER, J. N. **Effect of irrigation methods with saline waters o maize production and salt distribution in soil**. International Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Bari 1987. 285p.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASSOI, L. H.; REIS, V. C. S.; SILVA, T. G. F. da; FERREIRA, M. N. L.; MAIA, J. L. T. **Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológicas automática e convencional**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 25, n. 3, p. 457-460, 2003.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASSOI, L. H.; COSTA, W. P. L. B.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G. **Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 10, nº 1, p. 45-50, 2002.

THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate.** Geographical Review, v.38, n.1, 1948, pp. 54-94.

TUCCI, C. E. M., BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. IN: TUCCI, C. (Org.) Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª edição. Porto Alegre: ABRH, 2000. p.253-287.

ULZURRUN, M. D. D. Salinidad e alcalinidad del suelo em relación com el riego de drenaje. IN: V Máster Internacional de Riego y Drenaje. Centermapya, Madrid. 161p. 2000.

VIANA, A. P.; BRUCKNER, C. H.; PRIETO, H. E. M.; MARTINEZ, C. A.; HUAMAN, C. A.; MOSQUIM, P. R. **Teores de Na, K, Mg e Ca em porta enxertos de videira em solução salina.** Scientia Agrícola. Piracicaba, v.58, n.1, p.187-191, 2001.

WANG, Y.; NIL, N. **Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress.** The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 75: pp.623-627. 2000.

WARWICK, N. W. M.; BAILEY, P. C. E. **The effect of increasing salinity on the growth and ion content of three non-halophytic wetland macrophytes.** Aquatic Botany, v. 58, (1), p. 73-88, 1997.

WEISS, E. A. **Oilseed crops.** London: Blackwell Science, 2000. 364p.

ZENG, L.; SHANNON, M. C.; LESCH, S. M. **Timing of salinity stress affects rice growth and yield components.** Agricultural Water Management, Amsterdam, v.48, p.191-206, 2001.

ZHU, J. K. **Salt and drought stress signal transduction in plants.** Annual Review of Plant Biology, 53: 247-273, 2002.

ZHU, J. K. **Regulation of ion homeostasis under salt stress.** Current Opinion in Plant Biology, 6: p. 441-445, 2003.