

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ

MARÍLIA CARVALHO

**VARIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM
Ricinus communis L. SUBMETIDA AO DÉFICIT HÍDRICO REGULADO**

**ILHÉUS - BAHIA
2010**

MARÍLIA CARVALHO

**VARIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM
Ricinus communis L. SUBMETIDA AO DÉFICIT HÍDRICO REGULADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Linha de Pesquisa:
Cultivos em Ambiente Tropical Úmido.

Orientador:
Prof. Dr. Fábio Pinto Gomes

**ILHÉUS - BAHIA
2010**

MARÍLIA CARVALHO

**VARIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM
Ricinus communis L. SUBMETIDA AO DÉFICIT HÍDRICO REGULADO**

Ilhéus, BA, 18/06/2010.

Prof. Dr. Fábio Pinto Gomes
UESC/DCB
(Orientador)

Prof. Dr. Marcelo Schramm Mielke
UESC/DCB

Prof^a Dr^a Norma Eliane Pereira
UESC/DCAA

Prof. Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão
EMBRAPA ALGODÃO / UFPB

DEDICATÓRIA

A minha grande heroína mãe, dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela força e por ter me concedido a oportunidade de cumprir mais uma etapa da minha vida.

Ao meu orientador Fábio Pinto Gomes pela força, amizade, compreensão, pelo auxílio e ensinamentos durante o meu trabalho que foram fundamentais para o meu amadurecimento e crescimento na minha vida pessoal e profissional. Aos meus co-orientadores Alex-Alan Furtado de Almeida pela confiança e ensinamentos e Norma Eliane Pereira pela amizade e pelo incentivo na minha inserção na pesquisa científica desde a graduação. Ao professor José Olímpio pelo empréstimo dos adubos, equipamentos e permissão à entrada ao Laboratório de Química do Solo.

A minha família pelo apoio, em especial à minha heroína (mãe) que está sempre ao meu lado, suportando meus dias de estresse e ansiedade, agradeço pelo auxílio nos dias de coleta, noites viradas na UESC para realizações das medições 'pre-dawn', pelos múltiplos conselhos, e, principalmente por ser minha amiga, em que nos momentos de fraqueza e desânimo, sempre me incentivou a continuar e jamais desistir.

A minha irmã Maíla, minha tia Lindalva, meus dindos Marquinhos e Neuminha pelo apoio e pela confiança depositada em mim.

À Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade concedida.

Ao Dr. Napoleão Esberard pela doação das sementes de mamona para a realização desta pesquisa e pelas informações concedidas a cerca da minha pesquisa.

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

Aos professores Sérgio Oliveira, Solange França e Marcelo Mielke pelos ensinamentos estatísticos, meteorológicos e fisiológicos e, especialmente, pela grande amizade consolidada desde a graduação.

Francisvaldo, Priscila, Junea, Josie, Juliano, Emerson, Gláucio, Elmo, Pablane, Micaela, Jô, Juli, Léo Ferreira, Fernanda, Márcia, Klésia, Suely, Deni, Fábio e Márcio pelo apoio e ajuda imprescindível e pelos momentos de descontração inesquecíveis. Ao Sr. Luiz Freire e os funcionários de campo (Florisvaldo, Messias, Mateus, Gilson da Acnav, Alex, Rosalvo, em especial a Manoel Delino pela grande amizade, pelo riso e apoio que nunca me foi negado, estando comigo na UESC até aos domingos para auxiliar nas minhas atividades. E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram e fizeram parte de mais esta etapa da minha vida.

Muito Obrigada!!!

VARIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM *Ricinus communis* L. SUBMETIDA AO DÉFICIT HÍDRICO REGULADO

RESUMO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é bem adaptada à região semi-árida por ser capaz de produzir satisfatoriamente sob pouca disponibilidade hídrica. Objetivou-se com este estudo estimar as variações morfofisiológicas e eficiência do uso da água em *R. communis* L. submetida ao déficit de irrigação regulado. Dois experimentos foram conduzidos em condições de casa de vegetação no *campus* da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA. O Experimento I foi realizado no período entre 03 de dezembro de 2008 a 07 de fevereiro de 2009 e o Experimento II foi realizado no período de 08 de julho a 18 de setembro de 2009. Após 30 DAS, o desbaste foi realizado deixando uma planta por vaso e o déficit de irrigação foi iniciado. Durante todo o período experimental o solo foi mantido com os seguintes teores de água: 20 (controle); 16%; 12%; 9% e 7% no Experimento I e 13% (controle), 11%; 9% e 7% no Experimento II. A cultivar BRS Energia foi capaz de manter seus tecidos mais hidratados com maior otimização da eficiência do uso da água sob a menor disponibilidade hídrica comparada a BRS Paraguaçu, podendo ser considerada como preventiva a seca. Diferenças não significativas no consumo de água entre cultivares foram observadas, embora a cultivar BRS Energia obtivesse menor consumo, mesmo em fase reprodutiva. A cultivar BRS Energia apresentou eficiência na conversão da água consumida em fitomassa produzida significativamente superior com valor de 2,7 g/L, ao passo que, à BRS Paraguaçu obteve 2,4 g/L num mesmo teor de água no solo no período de 34 dias de déficit hídrico. Teores de água no solo superiores a 7% garantem similaridade entre as cultivares para as eficiências intrínseca (A/gs) e instantânea (A/E) de uso da água, ao passo que, as plantas da cultivar BRS Paraguaçu submetidas à menor disponibilidade hídrica apresentam reduções consideráveis das eficiências acompanhado por queda na eficiência de carboxilação. Com base nos resultados obtidos foi possível concluir a mamoneira tem a assimilação de carbono diminuída apenas sob deficiência hídrica severa, sugerindo que a utilização da técnica da irrigação deficitária pode ser viável. No Experimento II, plantas submetidas ao tratamento de 13% (controle), apresentaram elevado potencial hídrico, seguido de um crescimento satisfatório, bem como maior eficiência de assimilação de carbono, ao passo que, a WUE em fitomassa apresentou comportamento inverso com redução na assimilação de carbono, baixa eficiência de carboxilação e limitação mesofílica, resultando em plantas com baixo rendimento. Não foram observadas reduções na máxima eficiência quântica do PSII (F_v/F_m), indicando que danos ao aparato fotossintético não ocorreram. De um modo geral, os fatores estomáticos foram mais importantes em plantas submetidas aos teores de água no solo de 13 e 11% (seca moderada), enquanto os fatores não estomáticos foram importantes em teores de água no solo de 9 e 7% (seca severa). Com base nos resultados obtidos foi possível concluir que embora a WUE tenha sido maior sob menor disponibilidade hídrica, tanto a fitomassa quanto o consumo hídrico foram significativamente reduzidos, não se mostrando um bom parâmetro nas condições do estudo.

Palavras-chave: mamoneira, estresse hídrico, assimilação de carbono, crescimento.

**MORPHOPHYSIOLOGICAL VARIATIONS AND WATER USE EFFICIENCY IN
Ricinus communis L. SUBMITTED TO DEFICIT IRRIGATION**

ABSTRACT

Castor bean (*Ricinus communis* L.) is well adapted to semi-arid region producing satisfactorily under low water availability. The objective of this study was estimate the morphological and physiological variations and water use efficiency in *Ricinus communis* L. subject to deficit irrigation. Two experiments were conducted under greenhouse conditions at the main *campus* of the Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, State of Bahia. Experiment I was conducted between 3 December 2008 to 07 February 2009 and Experiment II was conducted from 8 July to 18 September of 2009. After 30 DAS, a thinning was carried out leaving one plant per pot and the deficit irrigation was initiated. During the experimental period the soil was maintained in the following water contents: 20% (control), 16%, 12%, 9% and 7% in Experiment I and 13% (control) 11%, 9% and 7% in Experiment II. The BRS Energia was able to keep your tissues more hydrated with maximization of the efficiency of water use in the lower water availability compared to BRS Paraguaçu, can be considered as preventive drought. No significant differences in water consumption among cultivars were observed, although the BRS Energia obtain lower consumption, even in the reproductive phase. The BRS Energia was efficient in conversion of water consumed in matter produced significantly higher value of 2,7 g/L, whereas, the BRS Paraguaçu received 2,4 g/L in the same water content in soil during the 34 days of water deficit. Soil water contents above 7% guarantee similarity among cultivars to the intrinsic water use efficiency (A/g_s) and instantaneous water use efficiency (A/E) water use, while plans for the BRS Paraguaçu subjected to less water availability efficiencies show considerable reductions accompanied by a decrease in carboxylation efficiency. Based on the results it was possible to complete the castor bean has the carbon assimilation decreased only under severe water stress, suggesting that the use of deficit irrigation technique may be viable. In Experiment II, plants subjected to treatment 13% (control) showed high water potential, followed by a satisfactory growth and increased efficiency of carbon assimilation, while the WUE of phytomass showed an opposite behavior with a reduction in the assimilation carbon, low efficiency of carboxylation and mesophyll limitation, resulting in plants with low income. There were no reductions in the maximum quantum efficiency of PSII (F_v/F_m), indicating that damage to the photosynthetic apparatus did not occur. In general, stomatal factors were more important for plants exposed to water content in the soil 13 and 11% (moderate drought), while non-stomatal factors were important in water content in the soil of 9 and 7% (dry severe). Based on the results obtained it was concluded that although the WUE was higher under lower water availability, both biomass as water consumption were significantly reduced, not showing a good parameter in the study conditions.

Keywords: castor bean, water stress, carbon assimilation, growth.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

| | |
|------------------------------------|---|
| <i>UR</i> | Umidade relativa do ar (%) |
| <i>T</i> | Temperatura do ar (°C) |
| RFA | Radiação fotossinteticamente ativa (mol fótons m ⁻² /dia) |
| GD | Graus-dia acumulado (°C) |
| <i>A</i> | Taxa fotossintética líquida (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) |
| <i>G_s</i> | Condutância estomática ao vapor de água (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) |
| <i>E</i> | Taxa transpiratória (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) |
| <i>A/g_s</i> | Eficiência intrínseca de uso da água (μmol CO ₂ mol H ₂ O ⁻¹) |
| <i>A/E</i> | Eficiência instantânea de uso da água (μmol CO ₂ mmol H ₂ O ⁻¹) |
| <i>C_i/C_a</i> | Razão entre as concentrações intercelular e atmosférica de CO ₂ |
| <i>L_s</i> | Limitação estomática relativa da fotossíntese (%) |
| <i>L_m</i> | Limitação mesofílica da fotossíntese (%) |
| DAS | Dias após a semeadura |
| DAAT | Dias após a aplicação dos tratamentos |
| <i>WUE</i> | Eficiência do uso da água (g/L) |
| <i>TCR</i> | Taxa de Crescimento Relativo (mg g ⁻¹ dia ⁻¹) |
| <i>TAL</i> | Taxa Assimilatória Líquida (g cm ⁻² dia ⁻¹) |
| PSII | Fotossistema II |
| <i>F_m</i> | Fluorescência máxima |
| <i>F_v/F_m</i> | Eficiência quântica máxima do PSII |
| <i>A_{max}</i> | Taxa fotossintética saturada pela irradiância (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) |
| <i>R_d</i> | Taxa respiratória na ausência de luz (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) |

| | |
|-------------|---|
| <i>A</i> | Eficiência quântica aparente da assimilação ($\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ fótons) |
| Ψ_{PD} | Potencial hídrico foliar 'pre-dawn' (MPa) |
| Ψ_m | Potencial mátrico do solo (MPa) |
| <i>TRA</i> | Teor Relativo de Água (%) |
| <i>EE</i> | Extravasamento de Eletrólitos (%) |
| <i>AP</i> | Altura de Planta (cm) |
| <i>DC</i> | Diâmetro do coleto (cm) |
| <i>AF</i> | Área Foliar (AF) |
| <i>FSR</i> | Fitomassa das Raízes (g) |
| <i>FPA</i> | Fitomassa da Parte Aérea (g) |
| <i>FT</i> | Fitomassa Total (g) |
| <i>PA/R</i> | Razão parte aérea: raiz |

SUMÁRIO

| | | |
|--|--|-----|
| | Resumo | vi |
| | Abstract | vii |
| 1 | INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 5 |
| 2.1 | <i>Ricinus communis</i> L..... | 5 |
| 2.1.1 | Ecofisiologia de <i>Ricinus communis</i> | 6 |
| 2.2 | Respostas morfofisiológicas das plantas ao estresse hídrico..... | 7 |
| 2.3 | Déficit de irrigação regulado e eficiência do uso da água..... | 10 |
| | REFERÊNCIAS | 13 |
| VARIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM DUAS CULTIVARES DE MAMONA SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO REGULADO | | |
| | RESUMO..... | 18 |
| | ABSTRACT..... | 19 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 20 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 2.1 | MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO..... | 22 |
| 2.2 | MEDIÇÕES DAS TROCAS GASOSAS FOLIARES..... | 27 |
| 2.3 | RELAÇÕES HÍDRICAS..... | 27 |
| 2.3.1 | 2.3.1 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR..... | 27 |
| 2.3.2 | 2.3.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR RELATIVO DE ÁGUA..... | 28 |
| 2.4 | EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA..... | 28 |
| 2.5 | EXTRAVASAMENTO DE ELETRÓLITOS..... | 29 |
| 2.6 | COLETAS DESTRUTIVAS..... | 30 |
| 2.7 | DETERMINAÇÃO DA FITOMASSA..... | 30 |
| 2.8 | ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 31 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 4 | CONCLUSÕES | 55 |
| 5 | REFERÊNCIAS | 56 |

| | | |
|----------|--|----|
| | TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM <i>Ricinus communis</i> L.) SUBMETIDA AO DÉFICIT HÍDRICO REGULADO | 63 |
| | RESUMO..... | 63 |
| | ABSTRACT..... | 64 |
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 65 |
| 2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 67 |
| 2.1 | MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO..... | 67 |
| 2.2 | MEDIÇÕES DAS TROCAS GASOSAS FOLIARES..... | 70 |
| 2.2.1 | DETERMINAÇÃO DAS LIMITAÇÕES ESTOMÁTICA E MESOFÍLICA RELATIVA..... | 70 |
| 2.2.2 | MEDIÇÕES DA EMISSÃO DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A..... | 71 |
| 2.2.3 | CURVAS DE SATURAÇÃO DA FOTOSÍNTESE EM RESPOSTA À RADIAÇÃO LUMINOSA (CURVAS DE LUZ)..... | 72 |
| 2.3 | DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR..... | 72 |
| 2.4 | DETERMINAÇÃO DA FITOMASSA..... | 73 |
| 2.5 | ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 73 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 74 |
| 4 | CONCLUSÕES..... | 88 |
| 5 | REFERÊNCIAS..... | 89 |
| | ANEXOS | 95 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma das 7000 espécies da família das euforbiáceas, possivelmente originária da Etiópia, no continente africano, também conhecida no Brasil como carrapateira, palma-cristi e enxerida (BELTRÃO; SILVA, 1999). A mamoneira foi trazida para o Brasil pelos portugueses, com a finalidade de utilizar seu óleo para a iluminação e a lubrificação de eixos de carroças (SANTOS et al., 2007). Serve como lubrificante na aeronáutica, base na manufatura de cosméticos, drogas e farmacêuticos e em vários processos industriais, como fabricação de tintas e isolantes sendo um óleo bastante estável em variadas condições de temperatura e pressão (COSTA NETO et al., 2000). A haste fornece celulose para a fabricação de papel e serve de matéria-prima para a produção de tecidos grosseiros (AZEVEDO et al., 2001).

O clima tropical, predominante no Brasil, facilitou seu alastramento. Assim, a mamoneira é encontrada, como se fosse uma planta nativa, em quase todo o território nacional e também em cultivos destinados à produção de óleo (SANTOS et al., 2007).

O agronegócio da mamona é uma atividade essencial para o Brasil, não apenas por fornecer matéria-prima para a indústria, como por criar oportunidades de emprego nas zonas rural e urbana e, em particular, por garantir a fixação do homem do campo (LOPES et al., 2007), apresentando custo de produção baixo, resistência à seca e facilidade de manejo. Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de mamona, perdendo apenas para a Índia e a China, mas com potencial para aumentar rapidamente sua participação nesse mercado, considerando suas condições altamente favoráveis, como a oferta de áreas aptas para seu cultivo, a moderna

tecnologia de cultivo e um atualizado parque industrial de extração de óleo (SANTOS et al., 2007).

O cultivo de espécies produtoras de óleos ocupa uma área que corresponde a apenas 1% da área agricultável mundial total, com um uso de apenas 1% da água utilizada na agricultura (DE FRAITURE et al., 2008).

A busca mundial pela sustentabilidade ambiental com base na substituição progressiva dos combustíveis minerais derivados do petróleo, os quais são responsáveis diretos pelo efeito estufa, por combustíveis renováveis de origem vegetal, dentre eles o biodiesel do óleo da mamona, criou uma perspectiva real para a expansão do seu cultivo, em escala comercial no Semi-Árido brasileiro, principalmente na agricultura familiar, que já tem tradição no cultivo desta oleaginosa, em especial o Estado da Bahia, onde pequenos e médios agricultores produzem mamona há mais de um século (BELTRÃO et al., 2005).

Em razão da procura por culturas alternativas para produção de óleo destinado ao biodiesel, a mamona está sendo considerada como uma boa opção para agricultores de diversas regiões do país em razão, principalmente, do alto rendimento energético, relativa rusticidade e tolerâncias à seca, sendo adaptável a condições edafoclimáticas muito variáveis (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2009).

A mamoneira é bem adaptada à região semi-árida por ser capaz de produzir satisfatoriamente sob pouca disponibilidade de água (BARROS JÚNIOR et al., 2006). Nesta região, a cultura, mesmo tendo a produtividade afetada, tem-se mostrado resistente ao clima adverso quando se verificam perdas totais em outras culturas, servindo, desta forma, como uma alternativa de trabalho e de renda para o agricultor da região semi-árida do Nordeste do Brasil. No entanto, a resistência à seca da mamoneira não significa que sua produção não seja influenciada pela quantidade de água disponível no solo (AZEVEDO et al., 2001).

Devido ao cenário de mudança climática global, o qual pode causar um aumento da escassez hídrica; a irrigação e o uso racional desta, ou ainda, o uso de genótipos tolerantes ao déficit hídrico vêm sendo indicados como importantes objetos de pesquisa no mundo (CHAVES; OLIVEIRA, 2004).

Práticas agrícolas modernas devem incluir aumento da eficiência de uso da água, por exemplo, por meio de melhoramento genético para tolerância à seca além de tecnologias de irrigação localizada e fornecimento econômico de água. Adicionalmente, as políticas públicas de incentivo ao desenvolvimento de biocombustíveis devem levar em conta os efeitos da produção (em muitos casos monocultivos intensivos) e processamento dos mesmos na disponibilidade de água para a satisfação das necessidades locais básicas (VARGHESE, 2007).

Os poucos cuidados dispensados ao manejo de água na mamoneira, bem como a incipiência dos resultados de pesquisa a respeito dos efeitos de diferentes conteúdos de água existentes no solo sobre o desenvolvimento e rendimento da cultura, tem levado os pesquisadores a procurar estabelecer os impactos provocados pela diminuição dos níveis de água no solo (OLIVEIRA et al., 2008).

Atualmente, e mais ainda no futuro, a agricultura irrigada terá lugar sob a escassez hídrica. Para lidar com a escassez hídrica, o déficit de irrigação, definida como a aplicação de água abaixo das necessidades de água (evapotranspiração) exigida pelas plantas é uma importante ferramenta para atingir a meta de redução do consumo de água de irrigação. Existe potencial para melhorar a produtividade em muitas culturas e há informações suficientes para definir a melhor estratégia de irrigação para muitas situações. Há vários casos de sucesso do uso do déficit de irrigação regulado (DIR) em árvores frutíferas mostrando que a DIR aumenta os ganhos de produtividade (FERERES; SORIANO, 2007).

Com o aumento do interesse por essa cultura no semi-árido brasileiro, as necessidades de informações básicas e tecnológicas estão sendo ampliadas, criando demanda para estudo e expansão dessa cultura (BELTRÃO et al., 2006).

A cultura da mamona está em evidência devido ao incentivo à produção de biodiesel, o que exigirá grandes áreas de plantio para atender a demanda do mercado de combustíveis. No entanto, para que a ampliação da oferta dessa matéria-prima seja bem sucedida, é necessário desenvolver um conjunto de conhecimentos que permitam a obtenção de maior produção, para que essa cultura faça frente a outras opções como a soja, o amendoim e o girassol, cujas tecnologias de produção são mais aprimoradas (FANAN et al., 2009).

Sabendo-se da carência de recursos hídricos da região Nordeste, estudos a respeito da tolerância à seca de plantas, como a mamona, são necessários, buscando o aumento na eficiência do uso de água pelas plantas, bem como ao maior entendimento dos efeitos do estresse hídrico no crescimento.

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do déficit de irrigação regulado sobre as variações morfofisiológicas e a eficiência do uso da água em *Ricinus communis* L. O Capítulo compreende avaliar os efeitos do déficit hídrico regulado no comportamento de duas cultivares de mamoneira, bem como analisar a viabilidade da técnica. No segundo capítulo avaliar os efeitos do déficit hídrico regulado nas trocas gasosas e eficiência do uso da água em uma cultivar precoce de *Ricinus communis*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Ricinus communis* L.

A mamoneira é uma planta arbustiva, cujo óleo contém 90% de ácido graxo ricinoléico, de larga utilização na indústria, tem se tornado importante potencial econômico para o Brasil (BARROS JUNIOR et al., 2004). O óleo de mamona tem em sua estrutura química o grupo hidroxila e dupla ligação nos carbonos 8 e 12, sendo a única fonte comercial com essa singularidade. O grupo hidroxila confere ao óleo estabilidade quanto à viscosidade, que se mantém em condições de amplitude térmica. Ao contrário de outros óleos vegetais a mamoneira não perde a viscosidade em altas temperaturas e nem se solidifica em baixas temperaturas possuindo também estabilidade à oxidação (SAVY FILHO et al., 1999), sendo o único produzido pela natureza, solúvel em álcool, possuidor de propriedades singulares que o tornam o mais versátil de todos os óleos vegetais, com mais de 1000 aplicações industriais (BELTRÃO et al., 2003a; LOPES et al., 2005; SAVY FILHO, 2005).

A mamoneira é uma planta de clima tropical, prefere locais onde a temperatura do ar varie entre 20 e 30 °C, precipitações pluviais de pelo menos 500 mm, elevada insolação, requerendo entre 2000 e 3800°C de unidades de graus-dias e umidade relativa do ar baixa durante a maior parte do seu ciclo, menor do que 60%. Prefere solos de textura média, não muito argilosos, planos ou de relevo suave ondulado, sem perigo de encharcamento ou inundação, e não suporta solos muito salinos (BELTRÃO et al., 2003b). É cultivada desde 40°S até 52°N, estando seu ótimo ecológico nas altitudes entre 300m e 1500m, não suportando temperaturas infra-ótimas. Temperaturas abaixo de 16°C reduzem significativamente seu metabolismo, podendo até paralisar seu crescimento (BELTRÃO et al., 2007).

A semente é constituída, em média, de 75% de amêndoa e 25% de casca, onde são encontrados o alcalóide ricinina e a proteína ricina, o que a torna imprópria para alimentação de animais e humana em sua forma natural (SAVY FILHO et al., 1999). A torta, produto da extração do óleo, rica em fibra, mais de 35%, e cerca de 5% de nitrogênio, sendo um excelente fertilizante e condicionante do solo e caso seja tornada atóxica, torna-se uma excelente fonte protéica para rações animais (BELTRÃO et al., 2003b).

De acordo um levantamento realizado em maio de 2010 pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a área plantada de mamona em 2009/10 no Brasil foi de 139,8 mil ha, com uma produtividade de 744 Kg/ha e produção de 104,1 mil toneladas, destes 130,1 mil ha são plantios realizados no Nordeste, com uma produtividade de 712 Kg/ha e produção anual de 92,7 mil toneladas. A Bahia apresentou 87,8 mil há de área plantada, produtividade de 790 Kg/ha e produção anual de 69,4 mil toneladas.

A Bahia, com sua grande extensão territorial, condições edafoclimáticas adequadas onde se verifica o maior número de agricultores familiares do Brasil, é vista com grande potencial para a exploração de biomassa para fins alimentícios, químicos e energéticos, contribuindo para a produção de uma grande variedade de importantes oleaginosas, distribuídas em distintas regiões. A produção de soja e de algodão concentra-se no Oeste, enquanto o dendê é produzido no litoral sul e a mamona no Semi-Árido (KROHLING et al., 2009).

2.1.1 Ecofisiologia de *Ricinus communis*

A mamoneira é uma planta de elevada complexidade morfofisiológica, apresentando crescimento dicotômico, do tipo indeterminado, ou seja, não há diferenciação precisa entre o período vegetativo e o reprodutivo, pois ambos são de ocorrência contínua, desde que haja

disponibilidade de água (BELTRÃO et al., 2007; BELTRÃO; VALE, 2007). Apresenta crescimento fortemente alométrico, com grandes variações no porte, no ciclo, na sexualidade e em outros aspectos, nas seis subespécies existentes, nos 25 tipos botânicos, com mais de 3 mil cultivares identificadas no mundo, tendo desenvolvimento do tipo heteroblástico, com forma juvenil diferente da forma adulta (BELTRÃO et al., 2001).

É uma planta bastante complexa no que tange à morfologia, à biologia floral e à fisiologia, apresentando metabolismo fotossintético C_3 , porte muito variado, de 0,8 m, e árvores com mais de 5 m de altura, ramificação caulinar tipo simpodial, raízes fistulosas, vários tipos de expressão da sexualidade, elevadas taxas de respiração e particularidade da inflorescência; nos tipos “normais”, apresenta as flores masculinas na parte inferior e as femininas na parte superior, com polinização do tipo anemófila (BELTRÃO; SILVA, 1999).

2.2 Respostas morfofisiológicas das plantas ao estresse hídrico

A água é um recurso essencial para o metabolismo da planta e a nível celular participa de reações químicas, estando quimicamente associada aos constituintes do protoplasma, ligada a íons ou dissolvendo substâncias orgânicas (LARCHER, 2006).

A água, além de ser necessária ao crescimento das células, é um elemento essencial para a manutenção da turgescência das mesmas (SANTOS; CARLESSO, 1998). À medida que o potencial da água na planta diminui, a divisão celular e a atividade enzimática diminuem. Após este desencadeamento do déficit hídrico na planta, a transpiração começa reduzir devido ao fechamento dos estômatos, diminuindo a assimilação de CO_2 , reduzindo a translocação de produtos fotossintetizados e o acúmulo de açúcares. Mudanças como a queda da respiração e desbalanço do ácido abscísico ocorrem a partir deste ponto (HSIAO, 1973).

O suprimento de água para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo - planta - atmosfera. As influências recíprocas entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da cultura dependerá sempre da combinação desses três segmentos. Na medida em que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorver água, porque aumenta a força de retenção e diminui a disponibilidade de água no solo às plantas. Entretanto, quanto maior for a demanda evaporativa da atmosfera mais elevada será a necessidade de fluxo de água no sistema solo-planta - atmosfera (SANTOS; CARLESSO, 1998).

Em qualquer lugar que as plantas cresçam, elas estão frequentemente expostas às condições de múltiplos estresses, os quais limitarão seu crescimento e desenvolvimento comprometendo sua sobrevivência. Algumas das grandes regiões da Terra, como as zonas áridas, regiões com solos salinos, limitam a distribuição de espécies vegetais. Assim, a compreensão dos processos fisiológicos quanto às suas mudanças provocadas por estresse e dos mecanismos de adaptação e de aclimação de plantas sob estresses ambientais é de grande importância para a agricultura e o meio ambiente (TAIZ; ZEIGER, 2004; LARCHER, 2006).

Larcher (2006) define seca como um período sem precipitação apreciável ao qual ocorre redução no conteúdo de água no solo e, conseqüentemente, as plantas sofrem com a sua ausência. Um estresse causado pela seca pode ser também resultado da absorção inadequada de água pelas plantas, por exemplo, que crescem em solos rasos, incapazes de proporcionar um desenvolvimento favorável do sistema radicular.

As respostas das plantas ao déficit hídrico são caracterizadas por mudanças fundamentais na relação da célula com a água, nos seus processos fisiológicos, na estrutura de membranas e das organelas celulares, além das mudanças morfológicas e fenológicas da planta (TAIZ; ZEIGER, 2004; LARCHER, 2006). Segundo Medrano et al. (2002) o fechamento dos estômatos não é

controlado apenas pela disponibilidade hídrica no solo, mas pela complexa interação dos fatores internos (Ácido abscísico (ABA), condutividade do xilema, *status* hídrico foliar) e externos (disponibilidade hídrica nas folhas, *VpdL*).

A tolerância ao estresse hídrico ocorre em quase todas as plantas, mas sua extensão varia de espécie para espécie e mesmo dentro de cada espécie. O déficit hídrico e salinidade são questões globais que afetam a sobrevivência das culturas agrícolas e produção sustentável de alimentos (JALEEL et al., 2007). A intensidade, duração e taxa de progressão do estresse irão influenciar as respostas das plantas à escassez hídrica e salinidade, porque estes fatores irão influenciar na atenuação dos processos associados à aclimação (CHAVES et al., 2009).

De acordo com Santos e Carlesso (1998) quando a ocorrência do déficit hídrico é rápida, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita adaptar-se à nova situação, de forma rápida. Desta forma, plantas conduzidas em condições de irrigação normalmente apresentam menos resistência a situações de déficit hídrico no solo; já em plantas submetidas ao déficit hídrico gradual ou a deficiência de água no solo no início do seu ciclo, mais facilmente ocorre à adaptação das plantas. A tolerância da planta ao déficit hídrico parece ser um importante mecanismo de resistência, para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas.

O estresse hídrico reduz o tamanho da folha, extensão do caule e proliferação de raiz, altera as relações hídricas das plantas e reduz a eficiência do uso da água. As plantas exibem uma variedade de respostas fisiológicas e bioquímicas ao estresse hídrico tanto a nível celular como a nível de organismo como um todo. Assimilação de CO₂ pelas folhas é reduzida principalmente pelo fechamento dos estômatos, ocorrem danos de membrana e redução da atividade enzimática, especialmente as de fixação de CO₂ e a síntese de ATP. As espécies reativas de oxigênio (ROS)

causam prejuízos às macromoléculas, sendo um dos principais impedimentos para o crescimento (FAROOQ et al., 2009).

O estresse hídrico inibe mais o alongamento celular do que a divisão. O déficit hídrico reduz o crescimento das plantas, afetando vários processos fisiológicos e bioquímicos, como fotossíntese, respiração, translocação, a absorção de íons, carboidratos, metabolismo de nutrientes e fatores de crescimento (JALEEL et al., 2008). Nas plantas, uma melhor compreensão das características morfo-anatômicas e base fisiológica das mudanças na resistência ao estresse de água poderia ser utilizado para selecionar ou criar novas variedades de culturas para obter uma melhor produtividade sob condições de deficiência hídrica (NAM et al., 2001).

Uma das primeiras mudanças fisiológicas do estresse hídrico ocorre no processo de fotossíntese (CHAVES, 1991). Porém, há controvérsias sobre as mudanças fisiológicas pelas quais o estresse hídrico reduz a assimilação fotossintética de CO₂ (FLEXAS; MEDRANO, 2002; LAWLOR; CORNIC, 2002). Dois efeitos principais são considerados: restrição à difusão de CO₂ para dentro da folha, causado pelo fechamento estomático, e a inibição do metabolismo do carbono (TEZARA et al., 1999).

2.3 Déficit de irrigação regulado e eficiência do uso da água

O aumento da eficiência do uso da água (*WUE*) em culturas continua sendo uma grande preocupação por conta do aumento da demanda do uso da água pela população (HATFIELD et al., 2001).

Uma grande parte da água consumida pelas culturas que estima-se em 78%, vem diretamente de chuva que se infiltra no solo para gerar umidade do solo. Os outros 22% (1570 km³) é de superfície e fontes subterrâneas. Assumindo uma eficiência estimada de 60%, 2630 km³ são retirados de águas superficiais e fontes subterrâneas e 1570 km³ são consumidos pelas

culturas. Para produzir um litro de biocombustível a partir de culturas exige evaporação entre 2500 a 3500 L (DE FRAITURE et al., 2008).

A eficiência do uso da água permite avaliar os efeitos do manejo da água, do solo e da planta sobre o consumo de água e produção da planta (MEDEIROS et al., 2003). Práticas agrícolas e técnicas conservacionistas do uso da água na agricultura irrigada assumem, portanto, considerável importância, seja para economizar os recursos hídricos, seja para otimizar a eficiência do seu uso (MEDEIROS, 2002).

A aplicação de água abaixo dos requisitos exigidos pelas plantas é denominada déficit de irrigação (DI). Portanto, a demanda de água para irrigação pode ser reduzida e a água economizada e utilizada para outros fins. O déficit de irrigação é simplesmente uma técnica que visa à otimização da produção econômica quando a água é limitada, a redução do fornecimento para a irrigação de uma área impõe muitos ajustes no sistema agrícola. Assim, as práticas de DI são multifacetadas, induzindo alterações na técnica, sócio-econômica e institucional (FERERES; SORIANO, 2007).

A variável eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) quando analisado durante e após períodos de estresse hídrico informa sobre os critérios para a utilização do déficit de irrigação regulado (DIR) (ROMERO; BOTÍA, 2006).

As técnicas de irrigação e os chamados DIR (Déficit de Irrigação Regulado) e PRD (Seca de parte do sistema radicular) foram desenvolvidos e tem mostrado serem capazes de aumentar a WUE e manter a produtividade das culturas (DAVIES et al., 2002).

Tanto o DIR como o PRD têm surgido como formas potenciais de aumentar a economia de água na agricultura, permitindo que culturas possam suportar o estresse hídrico moderado com uma pequena diminuição da produção e qualidade. Videira e fruteiras parecem estar bem

adaptadas ao déficit de irrigação, mas outras culturas tendem a não responder tão bem, devido a perdas de produtividade e qualidade (COSTA et al., 2007).

Descobriu-se que não é apenas a produção de fitomassa que é linearmente relacionada com a transpiração, mas o rendimento de muitas culturas também é linearmente relacionado à evapotranspiração. Em particular, muitas culturas têm sensibilidades diferentes para o estresse hídrico em vários estádios de desenvolvimento, e a técnica do DI deve ser projetada para gerenciar o estresse de forma que a queda de rendimento seja minimizada. No entanto, quando o declínio do rendimento, em termos relativos, é inferior à diminuição da evapotranspiração o DI aumenta em relação à irrigação plena (FERERES; SORIANO, 2007).

O déficit de irrigação pode ajudar a lidar com situações onde a oferta de água é restrita. Uma medida tática para reduzir a água de irrigação quando a oferta é limitada por secas ou outros fatores, não se sabe se ele pode ser utilizado durante longos períodos de tempo. É necessário pesquisar através de experimentos de longa duração no sentido de determinar em que medida ele pode contribuir para a redução permanente da utilização da água de irrigação (FERERES; SORIANO, 2007).

REFERÊNCIAS

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, p.121-160, 2001.

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D.; OLIVEIRA, J. M. C. Efeito do déficit de água no solo sobre a relação raiz/parte aérea nas cultivares de mamona BRS 149 e BRS 188. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju-SE. **Resumos**. Aracaju-SE, 2006.

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; CAVALCANTI, M. L. F.; BARROS, A. D. **Análise de crescimento da mamoneira submetida ao estresse hídrico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande-PB. **Resumos**. Campina Grande-PB, 2004.

BELTRÃO, N. E. de. M.; AZEVEDO, D. M. P. de.; LIMA, R. L. S. de.; QUEIROZ, W. N. de.; QUEIROZ, W. C. de. Ecofisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de.; BELTRÃO, N. E. de. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina grande, PB) 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, p. 45, 2007.

BELTRÃO, N. E. de. M., CARTAXO, W. V., PEREIRA, S. R. de P., SOARES, J. J.; SILVA, O. R. R. F. **O cultivo sustentável da mamona no Semi-árido Brasileiro**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 23 p. (EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica, 84), 2005.

BELTRÃO, N. E. de. M.; MELO, F. B.; CARDOSO, G. D.; SEVERINO, L. S. **Mamona: árvore do conhecimento e sistemas de produção para o semi-árido brasileiro**. Campina Grande: EMBRAPA ALGODÃO. (Circular Técnica 70), 2003b.

BELTRÃO, N. E. de. M.; OLIVEIRA, M. I. P. Direcionamento dos resíduos e coprodutos da fabricação do biodiesel a partir de mamona e pinhão manso. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.18, n.4, p.613-619, 2009.

BELTRÃO, N. E. de. M.; SILVA, L. C. Os múltiplos usos do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, n. 31, p.7, 1999.

BELTRÃO, N. E. de. M.; SILVA, L. C. ; VASCONCELOS, O. L.; AZEVEDO, D. M. P. de; VIEIRA, D. J. Fitologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, p. 37-61, 2001.

BELTRÃO, N. E. de. M.; SOUZA, J. G.; SANTOS, J. W. Algumas alterações metabólicas ocorridas na mamoneira (BRS 149 Nordestina) devido ao estresse hídrico por deficiência e excesso no ambiente edáfico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.10, n.1/2, p. 977-984, 2006.

BELTRÃO, N. E. de. M.; SOUZA, J. G. de.; SANTOS, J. W. dos.; COSTA, F. X.; LUCENA, A. M. A. de.; QUEIROZ, U. C. de. Modificações na bioquímica da planta da mamoneira, cultivar BRS 188 Paraguaçu, submetida ao estresse hídrico (deficiência e excesso). **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.7, n.1, p.653-658, 2003a.

BELTRÃO, N. E. de. M ; VALE, L. S. Planta oleaginosas e suas características. **Revista Biodiesel**, Monte Alto, SP, p. 34-35, 2007.

CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.42, p. 1-16, 1991.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, p. 551–560, 2009.

CHAVES, M. M., OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2365-2384, 2004.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sétimo levantamento, abril 2010** - Brasília, 2010. 42 p. Disponível em http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8graos_6.5.10.pdf. Acesso em: 16 maio 2010.

COSTA, J. M.; ORTUÑO, M. F.; CHAVES, M. M. Deficit Irrigation as a Strategy to Save Water: Physiology and Potential Application to Horticulture. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 49, n. 10, p. 1421–1434, 2007.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

DAVIES, W. J.; WILKINSON, S.; LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. Research review. **New Phytologist**, v.153, p. 449–460, 2002.

DE FRAITURE, C., GIORDANO, M., LIAO, Y., Biofuels and implications for agricultural water uses: blue impacts of green energy. **Water Policy** 10 (S1), 67–81, 2008.

FANAN, S.; MEDINA, P. F.; CAMARGO, M. B. P. de. GALBIERI, R. Descrição de características agrônômicas e avaliação de épocas de colheita na produtividade da mamoneira cultivar IAC 2028. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.415-422, 2009.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, p. 185-212, 2009.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 2, p. 147–159, 2007.

FLEXAS, J., MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, London, v.89, p.183-189, 2002.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency: A Review. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 271-280, 2001.

HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Rockville, v.24, n.1, p.519-570, 1973.

JALEEL, C. A., R. GOPI, B. SANKAR, M. GOMATHINAYAGAM AND R. PANNEERSELVAM. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. **Comptes Rendus Biologies**. v. 331, p. 42–47, 2008.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SANKAR, B.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, T. Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 59, p. 150–157, 2007.

KROHLING, V. B.; OLIVEIRA, G. G.; MATOS, P. C.; SANT'ANA, M. I. O biodiesel na Bahia: uma análise da potencialidade baiana na produção de oleaginosas. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v.18, n.4, p.659-669, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. PRADO, C. H. B. A. (Trad.). São Carlos: Rima, 2006.531p.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford: v.25, p.275-294, 2002.

LOPES, J. da S.; ANDRADE, T. C. de. Q.; SANTANA, G. C. Biodiesel: oportunidades e desafios. **Revista Bahia Agrícola**, v. 8, n. 1, p. 24-27, 2007.

LOPES, J. S.; BELTRÃO, N. E. de. M.; PRIMO JÚNIOR, J. F. Produção de mamona e biodiesel: uma oportunidade para o Semi-árido. **Bahia Agrícola**, v.7, n. 1, p. 37-41, 2005.

MEDEIROS, G. A. **Influência do manejo de um latossolo vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado**. 2002. 176p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI. Eficiência do uso da água do feijoeiro irrigado: influência da densidade de plantio. **Revista Ecosistema**, v. 28, n. 1,2, p. 83-90, 2003.

MEDRANO, H.; ESCALONA, J. M.; BOTA, J.; GULÍAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis of C₃ plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**. v.89, p. 895-905, 2002.

NAM, N. H., CHAUHAN, Y. S.; JOHANSEN, C. Effect of timing of drought stress on growth and grain yield of extra-short-duration pigeonpea lines. **Journal of Agricultural Science**, v. 136, p. 179–189, 2001.

OLIVEIRA, J. M. C.; BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C. Produção de fitomassa das cultivares Nordestina e Paraguaçu sob diferentes regimes de água no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3.,2008, Salvador-BA. **Resumos**. Salvador-BA, 2008.

ROMERO, P.; BOTÍA, P. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas Exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. **Environment and Experimental Botany**, v.56, p. 158-173, 2006.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SANTOS, R. F.; KOURI, J.; BARROS, M. A. L.; MARQUES, F. M.; FIRMINO, P. T.; REQUIÃO, L. E. G. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina Grande, PB) 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.26, 2007.

SAVY FILHO, A. **Mamona tecnologia agrícola**, Campinas: EMOPIM 2005.105 p.

SAVY FILHO, A.; PAULO, E. M.; MARTINS, A. L. M.; GERIN, M. A. N. **Variedades de mamona do Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo. (IAC. Boletim Técnico, 183), 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Piracicaba, Artmed. 720p, 2004.

TEZARA, W.; MITCHELL, V. J.; DRISCOL, S. D.; LAWLOR, D. W. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature**, London, v. 401, p. 914-917, 1999.

VARGHESE, S. **Biofuels and Global Water Challengs**. Institute for Agriculture and Trade Policy, USA. 7p. 2007. Disponível em <http://www.tradeobservatory.org/library.cfm?refid=100547>. Acesso em 01/2010.

VARIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM DUAS CULTIVARES DE MAMONA SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO REGULADO

RESUMO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma planta xerófila e heliófila que possui boa capacidade de adaptação a seca. Por se tratar de uma planta tolerante à seca e exigente em calor e luminosidade, está disseminada por quase todo o Nordeste, cujas condições climáticas são adequadas ao seu crescimento e desenvolvimento, sendo a Bahia responsável por mais de 90% da produção nacional. Objetivou-se com este estudo avaliar a assimilação de carbono e eficiência do uso da água nas cultivares BRS Paraguaçu e BRS Energia, submetidas ao déficit de irrigação regulado. O experimento foi realizado no período de 03 de dezembro de 2008 a 07 de fevereiro de 2009 em condições de casa de vegetação no campus da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA. Durante todo o período experimental o solo foi mantido com cinco teores de água no solo (tratamentos) 20% (controle); 16%; 12%; 9% e 7% com cinco repetições para cada cultivar, os quais os vasos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado. Foram realizadas duas coletas destrutivas, aos 40 e 66 dias após a semeadura (DAS). Os tratamentos foram iniciados após 30 DAS com as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Energia em estádios vegetativo e reprodutivo, respectivamente. Após 18 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT), o Ψ_{PD} e o TRA da cultivar BRS Energia foram maiores (-0,89 MPa e 75,49%) do que da cultivar BRS Paraguaçu (-1,43 MPa e 64,20%) nas plantas submetidas ao tratamento de 7% de água no solo. As variáveis altura de planta (AP), área foliar (AF), fitomassa de parte aérea (FPA), fitomassa de raiz (FR), fitomassa total (FT), razão parte aérea e raiz (PA/R), consumo de água, taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa assimilatória líquida (TAL) foram reduzidos à medida que o déficit hídrico aumentava. A reposição de água foi maior em plantas com maior transpiração e adequada disponibilidade hídrica. Mesmo considerando que a cultivar BRS Energia entrou na fase reprodutiva não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares para o consumo de água aos 34 DAAT, cujo valor foi em média 1,24 L/dia no tratamento controle. A eficiência do uso da água (WUE) da cultivar Energia foi significativamente maior (2,7 g/L) em relação a BRS Paraguaçu (2,4 g/L) no teor de água no solo de 14%. As plantas da cultivar BRS Energia quando submetidas ao tratamento de 7% foram capazes de manter os estômatos mais abertos, resultando em maiores valores de A , A/gs e A/E . De um modo geral, a cultivar BRS Energia foi mais tolerante ao maior déficit hídrico, mantendo seus tecidos mais hidratados, com WUE maior em relação à BRS Paraguaçu. A técnica da irrigação deficitária pode ser viável, uma vez que, a mamoneira tem a assimilação de carbono diminuída apenas sob deficiência hídrica severa.

Palabras-chave: *R. communis*, BRS Energia, BRS Paraguaçu, consumo de água, estresse hídrico

MORPHOPHYSIOLOGICAL VARIATIONS AND WATER USE EFFICIENCY IN TWO CULTIVARS OF CASTOR BEAN SUBMITTED TO DEFICIT IRRIGATION

ABSTRACT

The castor bean (*Ricinus communis* L.) is a xerophytic plant and heliophylous which has good adaptability the drought. Because it is a drought tolerant plant and demanding heat and light, is disseminate throughout most of the Northeast, where climatic conditions are adjust for their grow and development, Bahia being responsible for more than 90% of national production. The objective of this study was evaluate the carbon assimilation and water use efficiency in cultivars BRS Paraguaçu and BRS Energia, subjected to regulated deficit irrigation. The experiment was conducted from 03 December 2008 to 07 February 2009 in terms of a greenhouse at the Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA. During the experimental period the soil was maintained with five levels of soil water (treatment) 20% (control), 16%, 12%, 9% and 7% with five repetitions for each cultivar, which were arranged in vases randomized design. There were two destructive samplings at 40 and 66 days after sowing (DAS). The treatments were started after 30 DAS with the BRS Paraguaçu and BRS Energy in stages vegetative and reproductive, respectively. After 18 days of treatment application (DAAT), the Ψ_{PD} and RWC of the cultivar BRS Energia were higher (-0,89 MPa and 75,49%) than the cultivar BRS Paraguaçu (-1,43 MPa and 64,20%) in plants subjected to treatment of the 7% water in the soil. The variables plant height (H), leaf area (LA), phytomass of shoot (SP), root phytomass (RP), total phytomass (TP), (SP/RP) ratio, water consumption, relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR) was reduced as the water deficit increased. The water replacement was higher in plants with higher transpiration and adequate water availability. Same though the cultivar BRS Energia entered the reproductive phase there were no significant differences among cultivars for water consumption to 34 DAAT, whose value was on average 1,24 L/day in the treatment control. The water use efficiency (WUE) of the cultivar BRS Energia was significantly higher (2,7 g/L) for BRS Paraguaçu (2,4 g/L) in soil water content of 14%.The plants of the cultivar BRS Energia when subjected treatment of the 7% were able to maintain stomata more open, resulting in higher values of A , A/gs and A/E . In general, to cultivar BRS Energia was more tolerant to higher water deficit, keeping your tissues more hydrated, with WUE higher than in BRS Paraguaçu. The technique of deficit irrigation may be feasible, since, the castor bean has the carbon assimilation decreased only under severe water stress.

Key words: *R. communis*, BRS Energia, BRS Paraguaçu, water consumption, water stress

1 INTRODUÇÃO

A produção alimentar tem sido tema de estudos de diversas instituições internacionais. A FAO (Organização para a Alimentação e a Agricultura da ONU), as ONGs (Organizações não Governamentais) e as instituições oficiais de governos dos países e especialistas apresentam estimativas e previsões muito preocupantes. A água é um recurso natural indispensável à sobrevivência do homem e demais seres vivos do Planeta. É fundamental para os ecossistemas, solvente universal e importante para a absorção de nutrientes do solo pelas plantas. Infelizmente, este recurso natural encontra-se cada vez mais limitado e exaurido pelas ações impactantes do homem nas bacias hidrográficas, degradando a sua qualidade e prejudicando os ecossistemas (PAZ et al., 2000).

A expansão da agricultura irrigada se tornará uma questão preocupante, devido ao elevado consumo e às restrições de disponibilidade de água. Avaliando-se a necessidade de água dos cultivos, em termos médios, é possível verificar-se que, para produzir uma tonelada de grãos, são utilizadas mil toneladas de água, sem se considerar a ineficiência dos métodos e sistemas de irrigação e o seu manejo inadequado; avaliações de projetos de irrigação em todo o mundo indicam que mais da metade da água derivada para irrigação se perde antes de alcançar a zona radicular dos cultivos (PAZ et al., 2000).

O déficit de irrigação (DI) é denominado como a aplicação de água abaixo dos requisitos exigidos pelas plantas (FERERES; SORIANO, 2007). A irrigação deficitária pode ajudar a economizar mais água e otimizar ou estabilizar o rendimento e a qualidade de diversas culturas como *Lycopersicon esculentum* (PULUPOL et al., 1996); *Prunus pérsica* (BOLAND et al., 1993); *Olea europea* (TESTI et al., 2006); *Citrus* (VERREYNNE et al. 2001); *Mangifera indica* (PAVEL; VILLIERS, 2004); *Capsicum annum* (KANG et al., 2001); *Solanum melogena* (KIRNAK; DEMIRTAS, 2006); *Cucumis sativus* (MAO et al., 2003).

O conceito de uso eficiente da água inclui qualquer medida que reduza a quantidade que se utiliza por unidade de qualquer atividade, e que favoreça a manutenção e a melhoria da qualidade da água. Este uso eficiente está relacionado a outros conceitos de manejo atual dos recursos ambientais, sendo básico para o desenvolvimento sustentável e assegurando que haja recursos suficientes para as gerações futuras. Pequenos aumentos na eficiência produzem incrementos significativos na água disponível para outros fins, principalmente em situações de competição pelo uso da água; quanto maior a eficiência, menores os custos de bombeamento, condução e distribuição da água de irrigação (PAZ et al., 2000).

Segundo Costa et al. (2005), a eficiência do uso da água (*WUE*) pode variar conforme a textura do solo, uma vez que, os autores avaliaram a *WUE* na cultura do arroz e observaram que textura argilo-siltosa produziu 0,5 Kg de arroz em casca para cada 1,0 m³ de água aplicada. Já para a textura franca, produziu-se apenas 0,18 Kg para cada 1,0 m³ de água aplicada, sendo assim, unidades texturais de solos mais argilosos, associaram-se aos maiores valores de *WUE*.

O consumo de água pelas comunidades vegetais é uma variável importante a ser considerado nos estudos de reorganização agrícola ou na avaliação da produtividade das culturas. Uma forma pela qual esse consumo hídrico (evapotranspiração) pode ser determinado pelo balanço hídrico no solo (CRUZ, 2003).

O consumo d'água é influenciado pela disponibilidade de água no solo, demanda evaporativa da atmosfera, características morfofisiológicas da espécie e área foliar da cultura. A estufa altera de maneira significativa os elementos meteorológicos no seu interior, principalmente reduzindo a radiação solar, a velocidade do vento e, em geral, o déficit de saturação do ar e, conseqüentemente, reduzindo a evapotranspiração (DALSSASSO et al., 1997).

Objetivou-se com este trabalho avaliar a assimilação de carbono e eficiência do uso da água em duas cultivares de mamona submetidas a déficit de irrigação regulado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, no *campus* da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), localizada próxima à região urbana do município Ilhéus, BA (14°47'00" S, 39°02'00" W), no período entre 03 de dezembro de 2008 a 07 de fevereiro de 2009 com duas cultivares de *Ricinus communis* L., cultivar BRS Paraguaçu que, em condições de sequeiro, apresenta altura média de 1,60m, caule de coloração roxa, com cera, racemo oval, frutos semi-deiscentes e sementes de coloração preta. O período entre a emergência da plântula e a floração do primeiro racemo é de 54 dias em média, o peso de 100 sementes é de 71 g, o teor de óleo nas sementes é de 47,72% e a produtividade média é de 1.500 Kg/ha, em regime de sequeiro nas condições semi-áridas do Nordeste, em anos normais quanto à precipitação pluvial (FREIRE et al., 2007). Essa cultivar foi desenvolvida para plantio em região semi-árida e para uso na agricultura familiar, com plantio e colheita manual (parcelada), ciclo longo (até 250 dias se houver disponibilidade de água) e boa tolerância à seca. Tem susceptibilidade moderada ao mofo cinzento (EMBRAPA, 2008). E cultivar BRS Energia que foi desenvolvida em rede pela Embrapa, EBDA e Emparn e lançada em 2007. Tem porte baixo, em torno de 1,40m, ciclo entre 120 e 150 dias, caule verde com cera, cachos cônicos com tamanho médio de 60 cm, frutos verdes com cera e indeiscentes. As sementes pesam entre 0,40g e 0,53g com as cores marrom e bege, contendo 48% de óleo. A produtividade média experimental é de 1.500 kg/ha em regime de sequeiro e deve ser plantada em espaçamentos de 1x1m. Os testes foram realizados nos Estados do Ceará, Sergipe, Alagoas, Rio Grande do Norte e Bahia (EMBRAPA, 2008).

Conforme classificação climática de Köppen, o clima local é do tipo Af, com temperaturas médias anuais variando de 22 a 25°C, sendo maiores e com menor amplitude térmica na faixa costeira (FARIA FILHO; ARAÚJO, 2003). As sementes foram adquiridas da EMBRAPA Algodão cuja sede é em Campina Grande, (PB) as quais passaram por um processo de embebição por 2 horas e por tratamento químico, no qual se utilizou o fungicida sistêmico Derosal® ml/L. As cultivares de mamona BRS Energia e BRS 188 Paraguaçu foram cultivadas durante 66 dias em vasos com capacidade para vinte e dois litros de substrato, contendo como substrato areia e solo (3:1), classificado como franco-arenoso, de acordo a análise granulométrica do substrato, o qual continha 60 dag/kg de areia grossa, 16 dag/kg de areia fina, 9 dag/kg de silte e 15 dag/kg de argila, proveniente do município de Ilhéus-BA, previamente preparado segundo análise química do substrato com pH de 4,47; 0,67 cmol_c/dm³ de Al; 4,23 cmol_c/dm³ de H; 0,19 cmol_c/dm³ de Ca; 0,08 cmol_c/dm³ de Mg; 0,4 cmol_c/dm³ de P 8 mg/dm³ de K; 103 mg/dm³ de Fe; 1,17 mg/dm³ de Zn; 0,5 mg/dm³ de Cu e 1,7 mg/dm³ de Mn.

Vasos semelhantes aos utilizados no experimento foram montados para estimar a capacidade de campo. Após a correção do pH e da adição de superfosfato triplo e uma formulação na adubação de formação (Tabela 1), procedeu-se o enchimento de cada vaso com peso de solo conhecido e em seguida o solo foi irrigado até a capacidade de campo, posteriormente, foram semeadas cinco sementes por vaso. Quando as plantas tinham aproximadamente 10 a 12 cm de altura foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso. As plantas destinadas ao desbaste foram utilizadas para a coleta zero. Na adubação de cobertura foram aplicados mensalmente 50 ml/vaso de solução nitrogenada e potássica (Tabela 1).

Tabela 1. Fertilizantes químicos utilizados durante o experimento no plantio e em cobertura. As adubações potássica e nitrogenada de cobertura foram realizadas mensalmente.

| Fertilizantes | Plantio | Cobertura |
|---|-------------------------|------------------------|
| Calcário Dolomítico (PRNT 90,87%) | 1,55 g dm ⁻³ | - |
| Uréia | | 80 mg dm ⁻³ |
| Cloreto de Potássio (60%) | | 10 mg dm ⁻³ |
| Superfosfato triplo | 1,37 g dm ⁻³ | |
| Formulação (N, K, S, B, Cu, Mg, Zn e Mn) | 0,6 g dm ⁻³ | |

No dia 31/12/08 a irrigação foi suspensa a fim de que todos os vasos chegassem aos tratamentos desejados aos 28 dias após a semeadura (DAS). Após quatro dias (04/01/09) foram iniciados os tratamentos. As plantas foram submetidas a diferentes condições hídricas e quantidades definidas de água, de modo a manter o solo, durante todo o período experimental com teores de água no solo: 20 %; 16 %; 12 %; 9 % e 7%, nos quais de posse dos valores de peso da fitomassa seca de planta, peso de solo seco e peso do vaso, estes eram descontados e os teores de água no solo para cada tratamento eram determinados. O controle da quantidade de água a ser aplicada em cada tratamento e a avaliação do consumo de água, foi realizado por meio de pesagens diárias dos vasos, em uma balança, realizadas sempre às 8:00h da manhã. Antes de cada irrigação, todos os vasos eram pesados e a diferença entre o peso atual e aquele correspondente e o teor de água de cada tratamento correspondia ao peso (volume) da água de reposição (evapotranspiração). O experimento foi conduzido segundo o delineamento experimental

completamente ao acaso, em esquema fatorial 5 x 2, sendo os fatores: cinco teores de água no solo (20 %, 16 %, 12 %, 9 % e 7 %) e duas cultivares com cinco repetições de cada cultivar por tratamento, totalizando 100 plantas.

A técnica utilizada no experimento foi o de déficit de irrigação regulado (DIR), na qual consiste na aplicação de menor quantidade de água do que a estimada pelos os métodos de determinação da necessidade hídrica das culturas (ROMERO; BOTÍA, 2006; DODD, 2007).

Com a equação da curva de retenção de água do substrato foi possível calcular os potenciais mátricos.

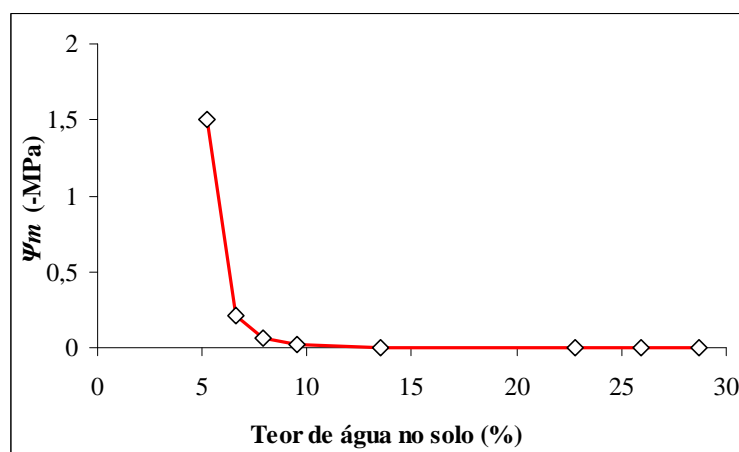


Figura 1. Curva de retenção de água do substrato utilizado no experimento.

Foram verificados os valores de potenciais mátricos médios dos tratamentos utilizados (Tabela 2). Os teores de água no solo utilizados no experimento são os valores médios aproximados do teor de água no solo.

Tabela 2. Teor de água no solo e potencial mátrico médio do substrato e seus respectivos tratamentos 20 %, 16 %, 12 %, 9 % e 7 %

| Teor de água no solo (%) Ψ_m (-MPa) | | |
|--|--------------|--------------|
| Tratamentos | Médio | Médio |
| 20 | 19,77 | 0,0016 |
| 16 | 15,64 | 0,00305 |
| 12 | 12,19 | 0,00734 |
| 9 | 9,18 | 0,02673 |
| 7 | 6,72 | 0,183 |

O consumo de água de cada tratamento em volume e o consumo cumulativo foram computados e anotados, de forma que a eficiência deste consumo fosse determinada pela relação entre o peso da matéria seca total e o volume de água efetivamente consumido em cada tratamento.

Como o experimento foi constituído de duas cultivares com ciclos bem distintos, cultivar BRS Energia precoce (120 a 150 dias) e BRS Paraguaçu (250 dias) foi acompanhado o ciclo reprodutivo apenas da cultivar BRS Energia, embora a cultivar BRS Paraguaçu tenha a fase reprodutiva iniciada aos 53 DAS, não houve florescimento no período avaliado até os 66 DAS, sendo que a cultivar BRS Energia já tinha iniciado a sua fase reprodutiva quando os tratamentos foram iniciados.

A disponibilidade de radiação luminosa foi obtida a partir de mensurações da radiação fotossinteticamente ativa acumulada (RFA, mol fotóns m²/dia), entre 05:30 às 17:30h utilizando sensores de radiação luminosa S-LIA-M003 acoplados a estação climatológica Hobo Micro Station Data Logger (Onset Coputer, Massachusetts, EUA). As condições de temperatura (T °C) e umidade relativa do ar (UR %), durante todo o período experimental, foram registradas por meio de sensores Hobo H8 Pro (Onset, Coputer, Massachusetts, EUA). Os sensores de RFA (Radiação

Fotossinteticamente Ativa), temperatura e umidade relativa do ar foram programados para realizarem leituras em intervalos de 10 minutos.

A estimativa dos graus-dia acumulados foi obtida mediante a equação: $GD_{acum} = \sum (T_{med} - T_b)$, sendo GD_{acum} ($^{\circ}C$) os graus-dia acumulados a partir do primeiro dia após a emergência da mamoneira, a T_{med} temperatura média do dia, e T_b a temperatura base utilizada para a mamoneira, considerada $16^{\circ}C$ de acordo com Beltrão et al. (2007).

Durante todo o período experimental, foram realizados o controle de plantas daninhas, pragas e doenças.

2.2 MEDIÇÕES DAS TROCAS GASOSAS FOLIARES

As trocas gasosas foram realizadas aos 11 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT) entre 8:00 e 12:00h da manhã medidas na parte mediana das folhas fisiologicamente maduras e completamente expandidas de cinco repetições de cada cultivar, utilizando um sistema portátil de medição de fotossíntese Li-6400 (Li-Cor, USA). A taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar (A), condutância estomática ao vapor de água (g_s) e transpiração (E) foram medidos utilizando o sistema portátil de medição de fotossíntese Li-6400 (LI-COR Biosciences Inc., Nebraska, USA). A RFA, concentração de CO_2 atmosférico (C_a) e temperatura foliar foram fixados para, respectivamente, $1200 \mu mol \text{ fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $400 \mu mol \text{ mol}^{-1}$ e $26^{\circ}C$.

2.3 RELAÇÕES HÍDRICAS

2.3.1 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

O potencial hídrico foliar ‘pre-dawn’ (Ψ_{PD}) foi avaliado aos 18 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT) em quatro repetições de cada cultivar e de cada tratamento, utilizando uma câmara de pressão 1000 (PMS Instrument Company, EUA), localizada dentro da casa de

vegetação, segundo metodologia descrita por Scholander (1965). As mensurações foram realizadas *in situ* no período entre 2:00 às 4:00h da manhã, no qual a temperatura média foi em torno de 23,3°C e umidade relativa do ar de 74%.

2.3.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR RELATIVO DE ÁGUA

A determinação do teor relativo de água (*TRA*) foi realizada em folhas de quatro repetições que eram primeiramente pesadas (P_1) em uma balança que se encontrava dentro da casa de vegetação e colocadas para hidratar no escuro em vasos com água durante 12 horas. Após o período de hidratação, as folhas foram pesadas para obtenção do peso da fitomassa túrgida (P_2) e posteriormente colocadas em uma estufa de ventilação forçada a 75°C durante 72 h para obtenção da matéria seca (P_3). O teor relativo foi calculado utilizando a seguinte fórmula: $[TRA = ((P_1 - P_3)/(P_2 - P_3)) \times 100]$ (KRAMER; BOYER, 1995).

2.4 EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA

Três formas de expressar a eficiência de uso da água foram utilizadas nas análises e interpretação dos dados experimentais. Eficiência instantânea de uso da água (A/E), calculada pela razão entre a taxa fotossintética líquida (A) e a taxa de transpiração (E), eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s), calculada pela razão entre a taxa fotossintética líquida (A) e a condutância estomática (g_s) e eficiência de uso da água da fitomassa total (g/L), calculada pela razão entre a fitomassa produzida e a água consumida (evapotranspirada) por quatro a cinco repetições aos 8 DAAT (1ª coleta) e aos 34 DAAT (2ª coleta) menos a inicial (média da fitomassa das plantas desbastadas).

A máxima eficiência técnica foi representada pelo uso de duas variáveis *dummy*, d_1 e d_2 . A combinação dessas duas variáveis representou o fator qualitativo em que cultivar 1: $d_1=1$ e $d_2=0$; cultivar 2: $d_1=0$ e $d_2=1$. Esses valores foram escolhidos arbitrariamente para representar os níveis da variável qualitativa, podendo assumir quaisquer valores distintos, mas o 0 e 1 são usualmente utilizados (WERKENA; AGUIAR, 1996).

2.5 EXTRAVASAMENTO DE ELETRÓLITOS

Para acessar a estabilidade das membranas foi utilizada a técnica do extravasamento de eletrólitos, conforme a metodologia descrita por BAJJI et al. (2001). Aos 34 (DAAT), discos foliares de 5 mm de diâmetro de quatro repetições de cada cultivar foram retirados com o auxílio de um furador e lavados por três vezes em água destilada para a retirada do conteúdo das células rompidas durante o corte e de outros eletrólitos aderidos às folhas. Após a lavagem, os discos foliares foram secos em papel absorvente e então, dez discos foram colocados em tubos contendo 20 mL de água deionizada a 25°C por 6h sob agitação constante. Após esse período a condutividade elétrica (C_1) foi medida com o auxílio de um condutivímetro portátil Delta Ohm modelo HD 2106.2, Itália. Após este procedimento, os tubos com os discos foram colocados a 90°C por 2h em um shaker Poly Science, modelo 28 L-H, Alaska. Frascos semelhantes aos das amostras contendo apenas água foram utilizados como branco (B_1) antes da fervura e (B_2) após a fervura. Após o equilíbrio da temperatura, a condutividade elétrica máxima foi medida (C_2) e o extravasamento de eletrólitos calculado através da fórmula: $(C_1-B_1/C_2-B_2) \times 100$.

2.6 COLETAS DESTRUTIVAS

Foram realizadas duas coletas destrutivas avaliadas no início aos 40 DAS ou 8 DAAT e final 66 DAS ou 34 DAAT do período experimental em que foram utilizadas cinco repetições de cada cultivar. As coletas foram tratadas de maneira independente, uma vez que, as plantas coletadas aos 40 DAS não correspondiam às coletadas aos 66 DAS. A altura de planta foi expressa em centímetros, medindo-se à distância entre o nível do solo e o ápice da planta. A área foliar foi estimada, de maneira não destrutiva e destrutiva, utilizando coeficientes alométricos (largura e comprimento de uma folha madura) previamente gerados para este fim de acordo a metodologia descrita por Severino et al. (2005) e com o medidor automático de área foliar (Li-Cor 3100, USA). A massa seca das partes da planta, bem como área foliar foi utilizada para estimar as variáveis de crescimento, como taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida, relação entre massas secas de raiz e da parte aérea, entre outros, de acordo com Hunt (1990).

2.7 DETERMINAÇÃO DA FITOMASSA

A determinação de fitomassa da planta foi realizada através de duas coletas destrutivas (40 e 66 DAS), nas quais cinco repetições de cada cultivar foram divididas em raiz, caule, folhas e frutos colocadas em sacos de papel e secos em estufa de ventilação forçada de ar a 75°C até fitomassa constante. Em seguida, foram pesadas em uma balança para obtenção da fitomassa das diferentes partes.

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de regressão para a variável níveis de reposição de água, considerando o teor de água do substrato como variável independente, sendo ajustadas regressões lineares e não lineares, sendo escolhida aquela com maior valor do R^2 e possível explicação biológica e teste t a 5% de probabilidade para o fator cultivares.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental a temperatura do ar variou de 24,3 °C a 31,2 °C. A umidade relativa do ar (UR) variou de 65,1% a 98,3% e a radiação fotossinteticamente ativa acumulada (PAR), de 4,9 a 32,9 mol fótons m⁻²/dia. O maior valor da temperatura registrado culmina com o menor valor de UR e maior PAR (Figura 2). O graus-dia acumulado (GD_{acum}) foi de 1874,0 °C durante 63 dias após a germinação. Esse valor está de acordo com Beltrão et al. (2007), que afirma que somente na floração, a mamoneira tem a necessidade de pelo menos 800°C a 1.200°C e de 1.200°C a 2.000°C, no período de frutificação. Vale salientar que a cultivar BRS Energia alcançou o período de floração aos 30 dias após a sementeira.

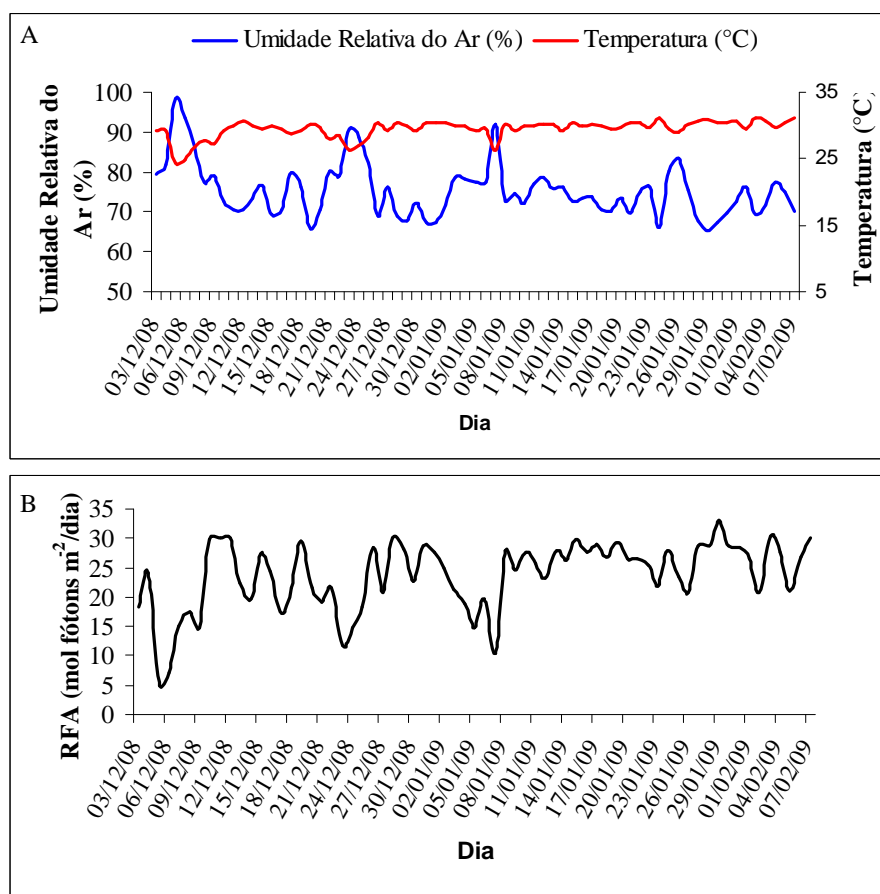


Figura 2. (A) Dados médios diários da temperatura do ar (Tar, °C), umidade relativa do ar (UR, %) e (B) RAF acumulada (mol fótons m⁻²/dia), no interior da casa de vegetação, referentes ao período entre 03 de dezembro de 2008 a 07 de fevereiro de 2009 na Fazenda Santa Cruz, Ilhéus, Bahia.

Houve interação significativa entre teor de água no solo e cultivar ($P < 0,001$) para as variáveis potencial hídrico ‘pre-dawn’ (Ψ_{PD}) e teor relativo de água (TRA), indicando que os efeitos dos tratamentos de irrigação deficitária para essas duas variáveis foram diferentes para as duas cultivares, sendo o regime hídrico o maior contribuinte para ocorrência da interação (Tabela 3).

Tabela 3. Níveis de significância da ANOVA comparando os efeitos dos teores de água no solo (A) e cultivares (C) e as interações entre teor de água no solo e cultivares (A*C) nas variáveis relações hídricas (Ψ_{PD} e TRA) aos 18 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT) e extravasamento de eletrólitos aos 34 DAAT em plantas de *R. communis* cvs. BRS Paraguaçu e Energia

| Variáveis | Água (A) | Cultivar(C) | A*C |
|-------------|----------|-------------|-----|
| Ψ_{PD} | *** | ** | *** |
| TRA | *** | *** | *** |
| EE | * | * | ns |

$P > 0,05$ (ns), $P \leq 0,05$ (*), $P \leq 0,01$ (**), $P \leq 0,001$ (***)

Foi observado que aos 18 DAAT, o Ψ_{PD} e o TRA diminuíram conforme era reduzido o teor de água no solo (Figura 3). O decréscimo do TRA e Ψ_w em função do estresse hídrico tem sido relatado em vários trabalhos (BERGONCI et al., 2000; ENNAHLI; EARL, 2005; KRAMER; BOYER, 1995; LAWLOR; CORNIC, 2002; SANTOS et al., 2008; WU et al., 2008).

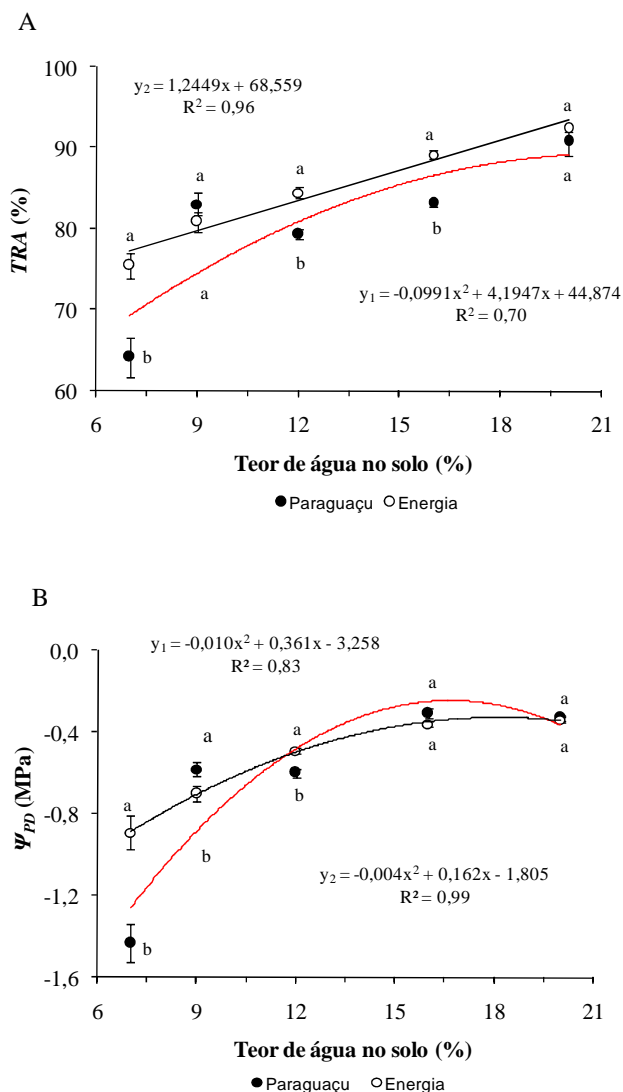


Figura 3. (A) Teor Relativo de Água (TRA) e (B) Potencial hídrico foliar 'pre-dawn' (Ψ_{PD}) em plantas de *Ricinus communis* cv. BRS Paraguaçu e cv. BRS Energia submetidas a diferentes condições hídricas 20%; 16 %; 12 %; 9 % e 7%, após 18 (DAAT). Letras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre cultivares pelo teste t num mesmo nível de água. Y_1 = Equação de regressão da cultivar BRS Paraguaçu e Y_2 = Equação de regressão da cultivar BRS Energia.

Considerando-se o TRA foram constatadas diferenças significativas entre cultivares nos tratamentos de 16, 12 e 7% com valores de (83,14; 79,40 e 64,20%) e (89,20; 84,49 e 75,49%) nas cultivares BRS Paraguaçu e BRS Energia, respectivamente (Figura 3A). Reduções no TRA em função do déficit hídrico foram observadas por Pinto (2006) em espécies oleaginosas, no qual ocorreram reduções significativas no tratamento seco em relação ao controle na ordem de 52%,

27% e 20%, respectivamente em amendoim, gergelim e mamona. No presente estudo as reduções foram aproximadamente de 18,3% (BRS Energia) e 29,3% (BRS Paraguaçu) no tratamento mais seco em relação ao controle.

Nos teores de água no solo inferiores a 12 % foram constatadas diferenças significativas entre cultivares, resultando numa queda do Ψ_{PD} , sobretudo no tratamento de 7% em que o Ψ_{PD} caiu para -1,43 MPa na cultivar BRS Paraguaçu contra -0,89 MPa da cultivar BRS Energia (Figura 3B). Sausen (2007) em estudos realizados com a mamoneira cultivar BRS Nordeste observou reduções no Ψ_w com o aumento do déficit hídrico, encontrando valores de Ψ_w medido às 15h de -1,6 MPa e -0,6 MPa em plantas estressadas e irrigadas, respectivamente aos 56 dias após o início dos tratamentos de seca.

O fato do *TRA* ter sido significativamente maior na cultivar BRS Energia, e possuir um Ψ_{PD} superior ao da BRS Paraguaçu sob maior déficit hídrico, permite inferir que esta cultivar teve uma tendência de melhor se adaptar à condição de seca imposta. Isto pode ser explicado devido a um possível ajustamento osmótico, uma vez que, a cultivar conseguiu manter seus tecidos mais hidratados (Figura 3).

É importante observar que nos tratamentos de 20% (controle) e 16% foi atingido um Ψ_{PD} de aproximadamente -0,4 MPa, a partir do momento que o déficit hídrico aumentou foram verificadas diferenças significativas entre cultivares, sobretudo sob menor disponibilidade hídrica, resultando em uma maior variação Ψ_{PD} (Figura 3 B). Estes resultados corroboram com os encontrados por Dwyer e Stewart (1984) em milho em que valores de Ψ_{PD} inferiores a -0,4 MPa, a planta perde pouca água para o ambiente sugerindo que o Ψ_{PD} passa a ser muito sensível a mudanças em solos com diferentes potenciais matriciais.

Não houve interação significativa entre cultivar e teor de água no solo para extravasamento de eletrólitos (Tabela 3). O extravasamento de eletrólitos apresentou uma tendência a aumentar

sob a menor disponibilidade hídrica, sugerindo a ocorrência de danos às membranas celulares (Figura 4).

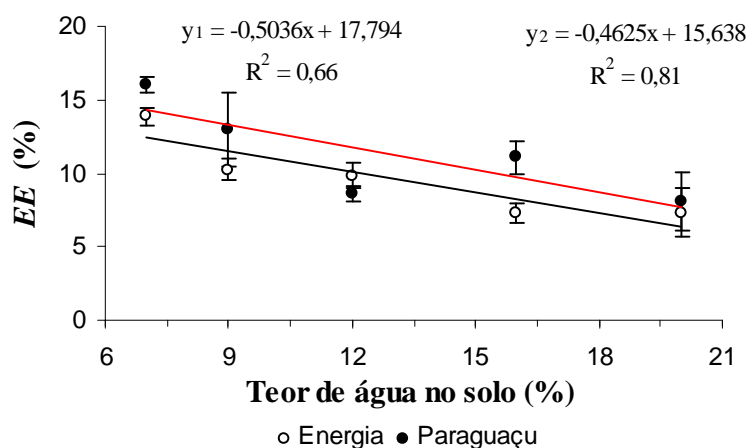


Figura 4. Extravasamento de eletrólitos (EE) em *Ricinus communis* cv. BRS Paraguaçu e cv. BRS Energia, cultivadas em diferentes teores de água no solo 20 %; 16 %; 12 %; 9 % e 7 %, realizado aos 66 (DAS) ou 34 (DAAT). Y_1 = Equação de regressão da cultivar BRS Paraguaçu e Y_2 = Equação de regressão da cultivar BRS Energia.

O extravasamento de eletrólitos observado sob a maior deficiência hídrica pode ser atribuído a uma consequência da limitação da fotossíntese imposta pelo estresse hídrico intenso que resulta na ruptura da integridade de membrana, por exemplo, devido à produção de formas reativas de oxigênio, *ROS* (oxigênio *singlet*, radical superóxido, peróxido de hidrogênio, radical hidroxila). Estes compostos altamente reativos diminuem a atividade de enzimas, causam peroxidação de lipídios e afetam praticamente todos os componentes fotossintéticos (TORRES NETO, 2005).

Aos 8 DAAT em decorrência do déficit hídrico, a altura das plantas foi gradualmente reduzida, sobretudo em plantas submetidas ao tratamento de 7%, com reduções de 38,81 e 33,28% em relação ao controle nas cultivares BRS Energia e BRS Paraguaçu, respectivamente (Figura 5A). Barros Júnior et al. (2004) afirmam que plantas da cultivar BRS Paraguaçu quando mantidas nos níveis de 40 e 60 % de água disponível (AD) apresentam um crescimento insignificante,

praticamente paralisadas ao longo do ciclo da cultura; já as plantas que são mantidas com umidade de 80 e 100 % de AD, apresentam um crescimento acentuado.

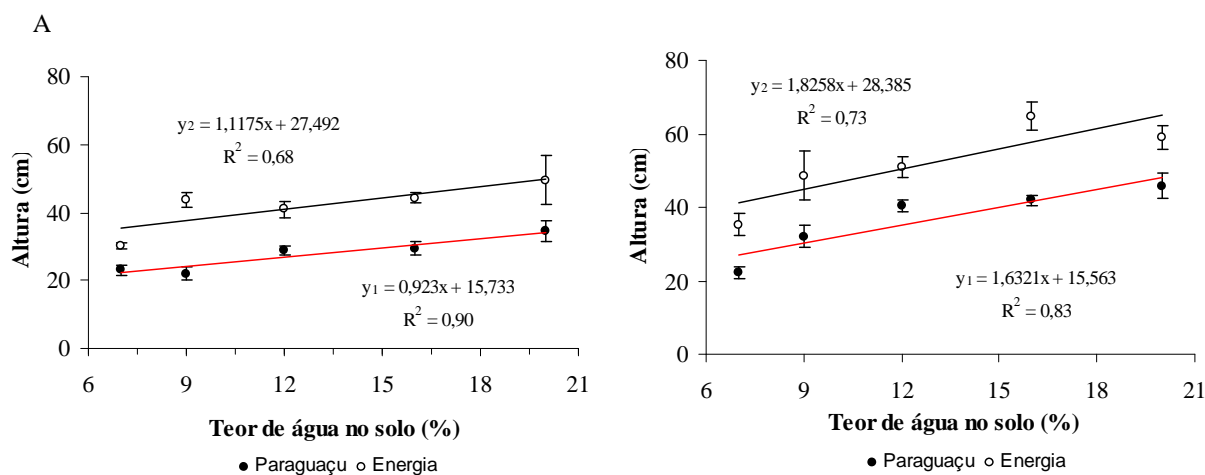


Figura 5. Altura da planta (cm) em *Ricinus communis* cv. BRS Paraguaçu e cv. BRS Energia, cultivadas em diferentes teores de água no solo 20 %; 16 %; 12 %; 9 % e 7 %, realizado aos 40 DAS ou 8 DAAT (A) e 66 DAS ou 34 DAAT (B). Y_1 = Equação de regressão da cultivar BRS Paraguaçu e Y_2 = Equação de regressão da cultivar BRS Energia.

Aos 34 DAAT houve uma queda linear da altura a partir do momento em que era reduzido o teor de água no solo para ambas as cultivares. A altura das plantas submetidas aos tratamentos de 9 e 7% na cultivar BRS Paraguaçu apresentou reduções na ordem de 30,04 e 51,48%, ao passo que as reduções na cultivar BRS Energia foram de 17,74 e 40,17%, respectivamente em relação ao controle (Figura 5B).

Aos 8 DAAT houve uma redução da área foliar, com o aumento do déficit hídrico em um curto período em que as plantas estavam submetidas aos tratamentos (Figura 6 A). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Beltrão et al. (2003) que relatam uma redução de mais de 60% da área foliar em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu sob estresse hídrico por excesso e deficiência em apenas 6 dias e afirmam que na sua fase juvenil, até os primeiros 52 dias da emergência das plântulas, a cultivar é muito sensível ao estresse hídrico. O efeito negativo do

déficit hídrico sobre área foliar tem sido relatado por inúmeros estudos (BARROS JÚNIOR et al., 2004; NASCIMENTO, 2007; WU et al., 2008).

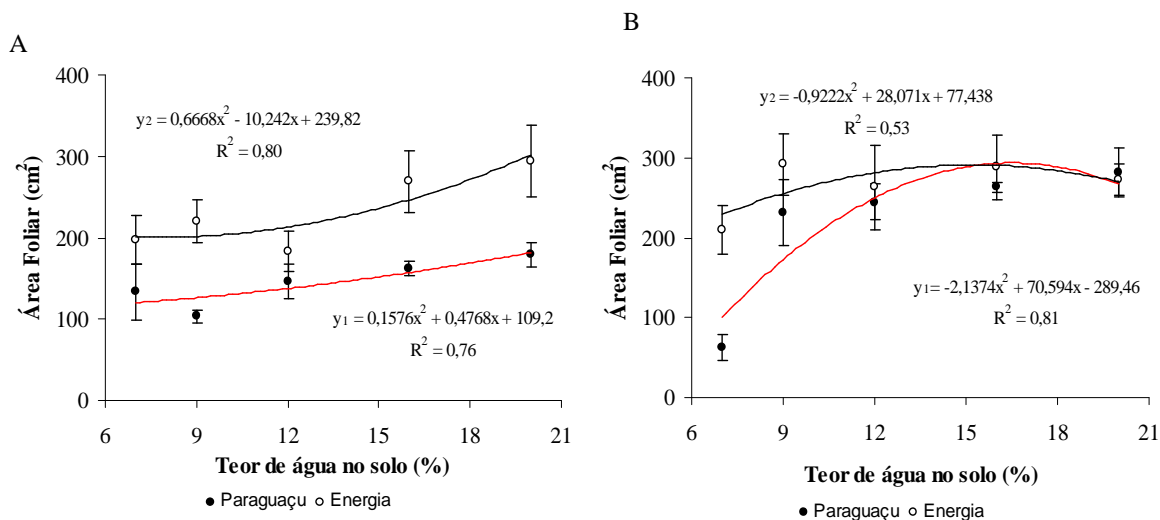


Figura 6. Área foliar (cm²) de *Ricinus communis* cv. BRS Paraguaçu e cv. BRS Energia, cultivadas em diferentes teores de água no solo 20 %; 16 %; 12 %; 9 % e 7 %, realizado aos 40 DAS ou 8 DAAT (A) e 66 DAS ou 34 DAAT (B). Y₁ = Equação de regressão da cultivar BRS Paraguaçu e Y₂ = Equação de regressão da cultivar BRS Energia.

Aos 34 DAAT as plantas da cultivar BRS Energia tiveram uma leve tendência a um decréscimo da área foliar com o aumento do déficit hídrico, ao passo que, na cultivar BRS Paraguaçu o efeito da deficiência hídrica foi ainda maior, sobretudo em teores de água no solo inferiores a 16% de água no solo. Esta pequena redução da área foliar observada na cultivar BRS Energia comparada a BRS Paraguaçu pode ser atribuída ao fato de que, durante o período experimental foi observado que sob o maior déficit hídrico, a cultivar BRS Energia foi capaz de emitir folhas, ainda que pequenas, ao passo que, a cultivar BRS Paraguaçu não houve lançamento de folhas. Sob maior déficit hídrico, as plantas tiveram a área foliar bastante comprometida, com redução de 75,58% e 23,13% em relação ao controle, nas cultivares BRS Paraguaçu e BRS Energia, respectivamente (Figura 6 B).

Segundo Taiz e Zeiger (2004) essa redução na área foliar se deve ao fato de que, com uma área foliar menor, a transpiração é reduzida, conservando um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo. Segundo Schurr et al. (2000), o estresse hídrico na mamoneira afeta o seu desenvolvimento e a taxa de assimilação de CO₂, desta forma as plantas apresentam estrutura foliar reduzida. Já o aumento da disponibilidade hídrica é responsável por uma atividade de crescimento mais pronunciada e eficiente. Lacerda et al. (2009) observaram que o fator água disponível, exerce efeito altamente significativo para área foliar em mamoneira BRS Paraguaçu, nos quais os tratamentos mantidos a 100% AD se mantiveram superiores aos de 70% em 37,6%; evidenciando que a mamoneira responde de forma direta quando se eleva o conteúdo de água no solo.

Considerando-se a fitomassa de parte aérea (*FPA*), o déficit hídrico afetou o seu crescimento nas cultivares de forma similar, apresentando um comportamento quadrático. As plantas da cultivar BRS Energia submetidas ao tratamento controle e de 7% aos 8 DAAT apresentaram *FPA* de 33,29g e 12,82g contra 37,35g e 13,66g da BRS Paraguaçu, representando uma redução em termos percentuais de 61,48% e 63,43% (Figura 7A).

Aos 34 DAAT, o prolongamento do déficit hídrico afetou consideravelmente a *FPA* das plantas de ambas as cultivares, com reduções de 79,02 e 85,44% das plantas submetidas ao tratamento de 7% em relação às plantas controle das cultivares BRS Paraguaçu e BRS Energia, respectivamente (Figura 7 B). Lacerda et al. (2009) encontraram proporções bem maiores em relação a fitomassa de parte aérea da cultivar BRS Paraguaçu, de modo que, as plantas mantidas a capacidade de campo (100% AD), apresentaram 246,5; 99,89 e 28,76%, superior às fitomassas produzidas pelas plantas no solo com 70; 80 e 90% AD, respectivamente, isso pode ser atribuído ao maior período avaliado de 120 DAS.

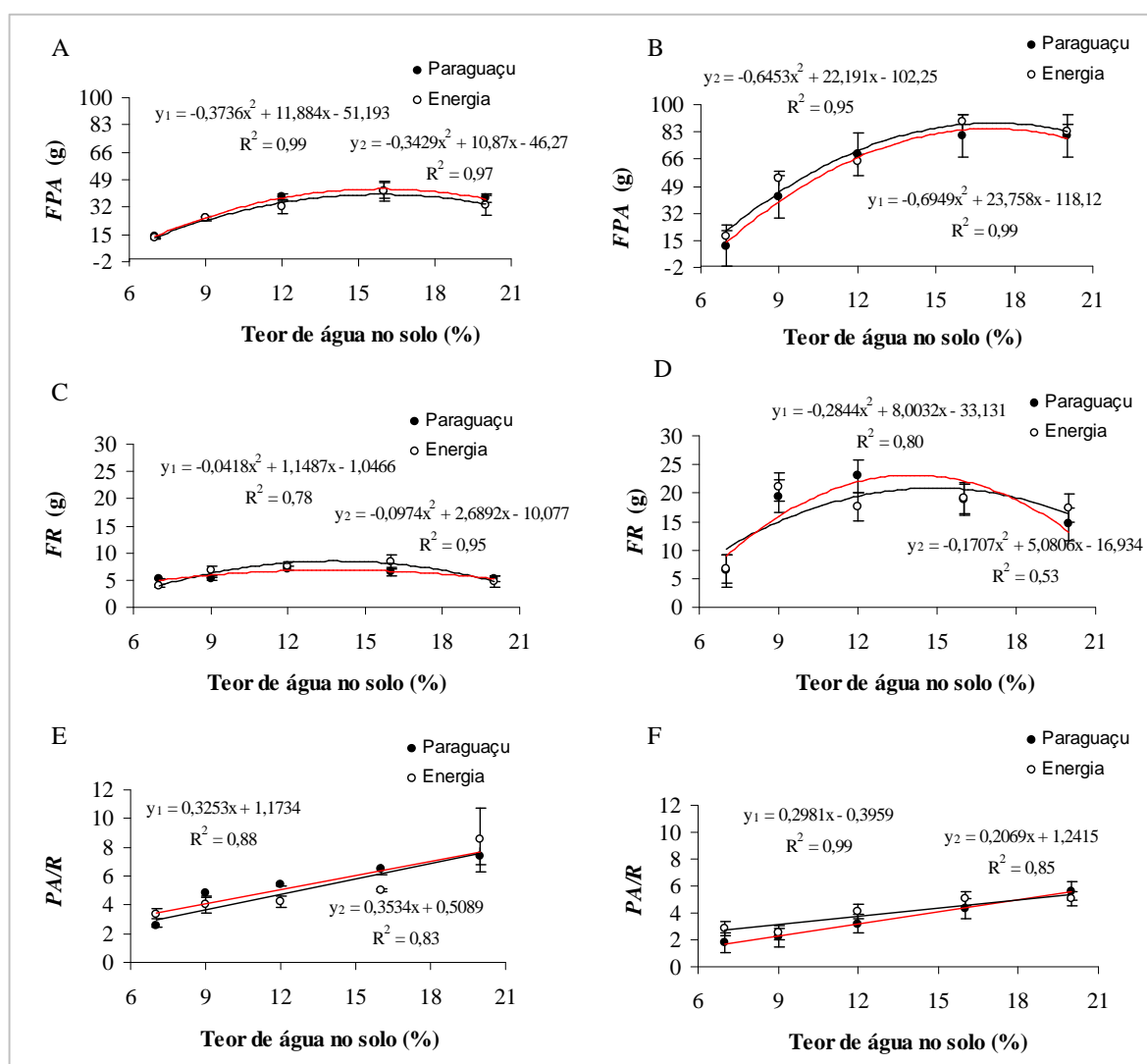


Figura 7. Peso da fitomassa de parte aérea (FPA), peso da fitomassa de raiz (FR) e razão parte aérea/raiz (PA/R) das cultivares de mamoneira BRS Paraguaçu e BRS Energia cultivadas em 20 %; 16 %; 12 %; 9 % e 7 % aos 40 ou 8 DAAT (A, C e E) e 66 DAS ou 34 DAAT (B, D e F). Y_1 = Equação de regressão da cultivar BRS Paraguaçu e Y_2 = Equação de regressão da cultivar BRS Energia.

Aos 8 DAAT a BRS Paraguaçu teve um incremento de fitomassa de raiz (*FR*) de 1,49% no tratamento de 7% em relação ao controle, enquanto que a BRS Energia teve uma redução de 17,00% (Figura 7 C). Aos 34 DAAT, a *FR* no tratamento de 7% foi menor em relação ao controle, com reduções de 61,25 e 56,04% nas cultivares BRS Energia e BRS Paraguaçu, respectivamente, isso indica que não houve incremento de raiz sob o maior déficit hídrico nas duas cultivares (Figura 7 D). Embora, Kramer e Boyer (1995) afirmem que plantas expostas à deficiência hídrica moderada geralmente reduzem o crescimento da parte aérea antes que o das raízes, resultando em incremento na relação entre raiz com parte aérea.

Em relação à razão parte aérea e raiz (*PA/R*), aos 8 DAAT houve uma tendência a diminuir linearmente, conforme o teor de água no solo diminuía, evidenciando o efeito mais intenso do déficit hídrico sobre a parte aérea da mamoneira do que na raiz (Figura 7E).

Para ambas as cultivares *PA/R* diminuiu com o decréscimo da disponibilidade hídrica, sobretudo na cultivar BRS Paraguaçu que obteve reduções de 23,35; 43,45; 61,34 e 67,93% dos tratamentos 16, 12, 9 e 7% em relação ao controle (Figura 7F). Por outro lado, Barros Júnior et al. (2006) em mamoneira cvs. BRS Nordestina e BRS Paraguaçu observaram que a razão raiz/parte aérea não foi significativamente afetada pelo déficit hídrico, mantendo-se no mesmo patamar para todos os tratamentos de 40, 60, 80 e 100% de água disponível estudados, ou seja, o déficit hídrico afetou por igual, tanto o sistema radicular como a parte área da planta à medida que o conteúdo de água no solo foi diminuindo.

No presente estudo ao avaliar as variáveis de crescimento aos 8 DAAT pôde se verificar que em um curto período de tempo em que as plantas foram submetidas aos tratamentos, observou-se um decréscimo significativo em função da diminuição do teor de água no solo (Figuras 5, 6 e 7). Isso pode está associado segundo Kim et al. (2003), sob condições naturais, o desenvolvimento de um estresse hídrico no solo geralmente se dá de maneira gradual, enquanto

que em experimentos em vasos a imposição do estresse geralmente é muito rápida em razão do espaço radicular restrito. Este fato é muito importante nos estudos de estresse hídrico e recuperação, pois a velocidade de imposição do estresse hídrico e a duração do mesmo podem implicar em diferentes respostas em variedades da mesma espécie.

Não foi verificada interação significativa entre cultivar e teores de água no solo para consumo e eficiência do uso da água aos 8 DAAT. Resultados semelhantes foram encontrados por Barros Júnior et al. (2008) que reportam que não houve interação significativa para as variáveis fitomassa seca total, consumo de água e eficiência do uso da água em cultivares de mamoneira BRS Nordestina e BRS Paraguaçu submetidas aos tratamentos 40, 60, 80 e 100% água disponível (AD). Já aos 34 DAAT houve interação significativa ($P < 0,001$) apenas para *WUE*, indicando que as cultivares apresentaram comportamentos distintos em função do teor de água no solo (Tabela 4).

Tabela 4. Níveis de significância da ANOVA comparando os efeitos dos teores de água no solo (A) e cultivares (C) e as interações entre teor de água no solo e cultivares (A*C) no consumo e eficiência do uso da água em plantas de *R. communis* cvs. BRS Paraguaçu e Energia submetidas aos tratamentos por 8 e 34 dias.

| Variáveis | Água (A) | Cultivar (C) | A*C | Água (A) | Cultivar (C) | A*C |
|---------------------------|----------|--------------|-----|----------|--------------|-----|
| | 8 DAAT | | | 34 DAAT | | |
| Consumo Hídrico | *** | ns | ns | *** | ns | ns |
| Eficiência do uso da água | ns | * | ns | *** | *** | *** |

$P > 0,05$ (ns), $P \leq 0,05$ (*), $P \leq 0,001$ (**).

Aos 8 DAAT houve uma diminuição da fitomassa total (*FT*) em decorrência do déficit hídrico em que o tratamento de 7% apresentou reduções de 55,52 e 56,04% em relação ao controle nas cultivares BRS Paraguaçu e BRS Energia, respectivamente (Figura 8 A). Segundo Gholz et al. (1990), a disponibilidade de água afetou o crescimento das plantas, por controlar a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, a atividade fotossintética e produção de biomassa

seca. Um decréscimo de água no solo diminui o potencial de água na folha e a condutância estomática, promovendo o fechamento dos estômatos. Esse fechamento bloqueia o influxo de CO_2 para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que implica redução da produtividade.

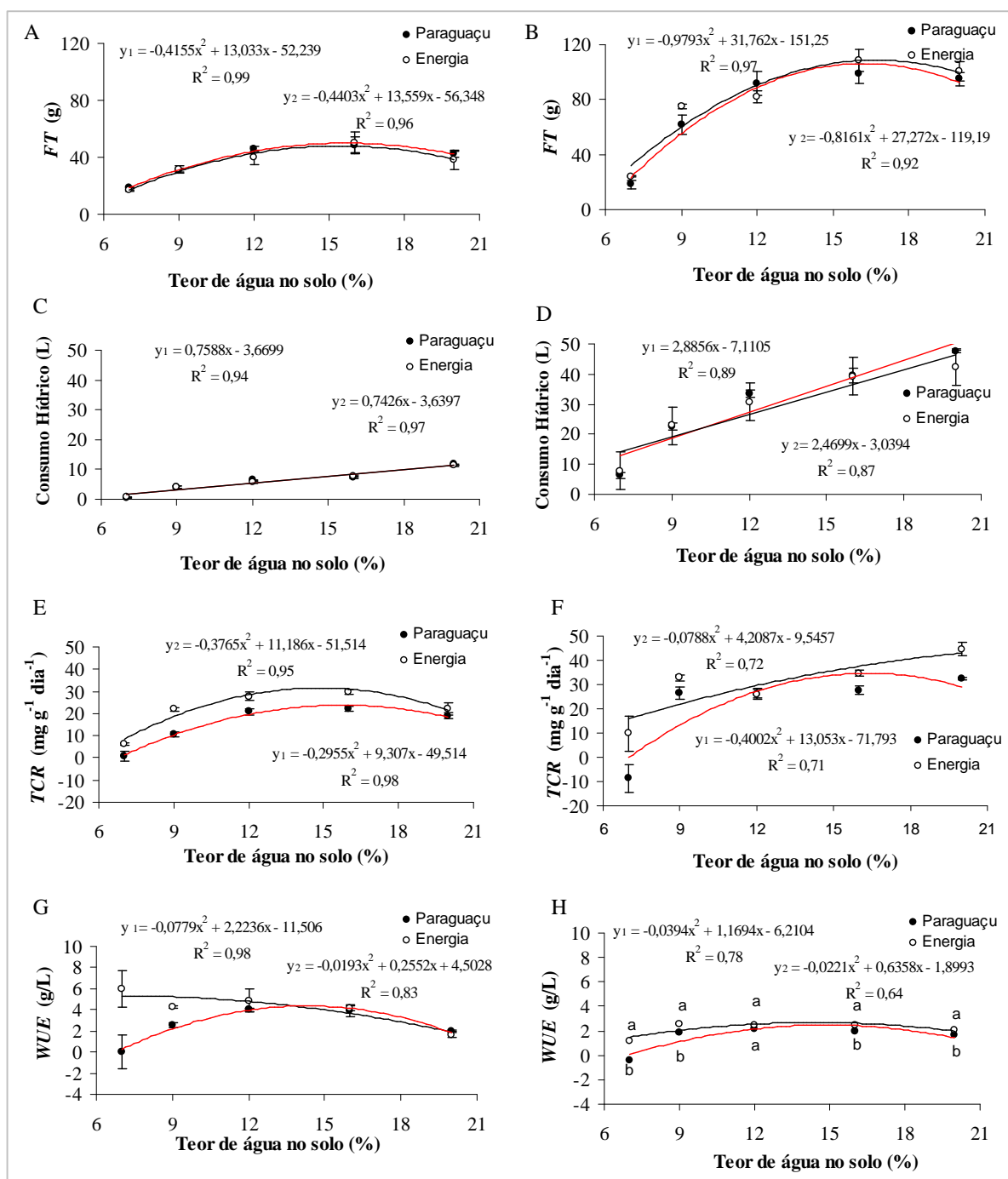


Figura 8. Valores médios de fitomassa total (*FT*), consumo acumulativo de água, taxa de crescimento relativo em fitomassa (*TCR*) e eficiência do uso da água (*WUE*) das cultivares de mamoneira em função dos tratamentos 20 %; 16 %, 12 %; 9 % e 7 % aos 40 DAS ou 8 DAAT (A, C, E e G) e 66 DAS ou 34 DAAT (B, D, F e H). Letras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre cultivares pelo teste t num mesmo nível de água Y_1 = Equação de regressão da cultivar BRS Paraguaçu e Y_2 = Equação de regressão da cultivar BRS Energia.

Considerando o acúmulo de *FT* durante todo o período experimental ao longo de 34 DAAT, o déficit hídrico influenciou na produção de biomassa em teores de água no solo inferiores a 16% com reduções de 18,21; 25,47 e 75,97% (BRS Energia) e 3,57; 35,10 e 80,95% (BRS Paraguaçu) nos tratamentos de 12, 9 e 7% em relação ao controle. Os valores médios de *FT* encontrados no tratamento controle e tratamento de 7% foram de (95,05g e 18,11g) e (106,66g e 24,19g) para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Energia, respectivamente (Figura 8 B).

Com relação à máxima eficiência técnica, não houve diferença significativa entre cultivares para *FT*, resultando num mesmo ponto de máximo para ambas as cultivares em que se obteve máxima *FT* de 104,4 e 107,5 g em 16% de teor de água no solo.

A reposição da água, que fora perdida, foi maior no tratamento em que as plantas eram mantidas sob maior disponibilidade hídrica (Figura 8 C e D). Resultados semelhantes foram observados por Pereira et al. (1997) em algodoeiro herbáceo, Barros Júnior et al. (2008) em mamoneira cultivares BRS Paraguaçu e BRS Nordestina em que o maior consumo hídrico se deu sob 100% de água disponível e Bergonci et al. (2000) em que afirmam que a reposição de água é maior em plantas com maior transpiração e adequada disponibilidade hídrica, enquanto que aquelas que há limitação hídrica a reposição é mais lenta.

Com a redução da disponibilidade hídrica, o consumo hídrico foi diminuído linearmente a valores de 11,71; 7,41; 6,43; 4,14 e 0,53 L (BRS Paraguaçu) e 11,35; 7,60; 5,69; 3,98 e 0,71 L (BRS Energia) com consumos médios diários de 1,46; 0,93; 0,80; 0,52 e 0,07 L (BRS Paraguaçu) e 1,41; 0,95; 0,71; 0,50 e 0,09 L (BRS Energia) nos tratamentos de 20, 16, 12, 9 e 7%, respectivamente ao longo de 8 DAAT (Figura 8 C).

Aos 34 DAAT o consumo hídrico foi reduzido linearmente a valores de 47,47; 39,53; 33,40; 22,41 e 6,33 L (BRS Paraguaçu) e 42,31; 39,22; 30,69; 22,94 e 7,72 L (BRS Energia),

com consumos médios diários de 1,40; 1,16; 0,98; 0,66 e 0,19 L (BRS Paraguaçu) e 1,24; 1,15; 0,90; 0,67 e 0,23 L (BRS Energia) nos tratamentos de 20, 16, 12, 9 e 7%, respectivamente. Diferenças não significativas no consumo de água entre cultivares foram observadas, embora a cultivar BRS Energia obtivesse menor consumo, mesmo em fase reprodutiva (Figura 8 D). Além disso, é importante salientar que a arquitetura das duas cultivares estudadas é diferente, portanto, a cultivar BRS Paraguaçu apesar de ter uma cobertura foliar sobre a superfície do vaso maior em relação à BRS Energia, isso não resultou em menor evapotranspiração.

Outro aspecto a ser considerado, foi a presença de cera nas folhas em plantas da cultivar BRS Energia submetidas aos tratamentos de 9 e 7% de água no solo, isso contribuiu para que houvesse menor perda de água na superfície foliar, resultando em menor transpiração cuticular. Segundo Jenks et al. 2002 uma resposta evolutiva comum ao estresse hídrico é a produção de uma cutícula espessa, que reduz a perda de água pela epiderme (transpiração cuticular). Embora as ceras sejam depositadas em resposta ao déficit hídrico, tanto sobre a superfície da cutícula quanto no seu interior, essa parte interna pode ser mais importante no controle da taxa de perda de água, através de mecanismos mais complexos que o simples aumento da quantidade de cera.

Não houve efeito dos tratamentos sobre a precocidade, sendo que a diminuição do teor de água no solo não contribuiu para reduzir o ciclo produtivo da cultivar BRS Energia, uma vez que, a fase reprodutiva foi iniciada primeiramente no tratamento de 16%, seguido do tratamento de 20, 12, 9 e 7%, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (1999) em algodoeiro herbáceo cv. CNPA - 6H, entretanto Luz et al. (1998) observou que a imposição do estresse na fase de pré-floração induziu o algodoeiro a emitir a primeira inflorescência antecipadamente.

Aos 8 DAAT, houve um incremento de fitomassa no tratamento de 16% em relação ao controle, resultando em um comportamento quadrático e a partir deste tratamento houve uma

queda. A taxa de crescimento relativo (*TCR*) da cultivar BRS Energia foi de 29,93; 27,77 e 21,87 mg g⁻¹ dia⁻¹ contra 22,18; 20,90 e 10,56 mg g⁻¹ dia⁻¹ da BRS Paraguaçu nos tratamentos 16, 12 e 9% de água no solo (Figura 8 E).

Aos 34 DAAT, a *TCR* foi maior no tratamento controle com valor de 44,74 mg g⁻¹ dia⁻¹ e de 32,43 mg g⁻¹ dia⁻¹ nas cultivares BRS Energia e BRS Paraguaçu, respectivamente. Com o aumento do déficit hídrico houve reduções do incremento em biomassa (Figura 8 F). De acordo Ferri (1985), a *TCR* corresponde à quantidade de material novo produzido em relação ao material preexistente ao longo do tempo, baseado nisso, foi possível considerar que, no tratamento de 7% a *TCR* para a cultivar BRS Paraguaçu apresentou valor negativo (-8,58 mg g⁻¹ dia⁻¹), o que resultou na paralisação do incremento em biomassa e baixa capacidade de sintetizar novos produtos, enquanto que para a cultivar BRS Energia ainda apresentava valores positivos (9,8 mg g⁻¹ dia⁻¹), mostrando que sob déficit hídrico intenso a cultivar BRS Energia conseguiu obter incrementos em biomassa (Figura 8 F). A paralisação do incremento em biomassa observada na cultivar BRS Paraguaçu sob intenso déficit hídrico pode ser atribuída segundo Lacerda et al. (2009) a menor tolerância desta cultivar ao déficit hídrico, porém responde de forma direta com altos incrementos de crescimento quando submetidas a conteúdos de água no solo próximos à capacidade de campo.

A cultivar BRS Paraguaçu apresentou a máxima eficiência técnica em *TCR* de 28,2 mg g⁻¹ dia⁻¹ em um teor de água no solo de 16 %.

Para a eficiência do uso da água (*WUE*) aos 8 DAAT, houve um aumento com a diminuição do teor de água no solo para a cultivar BRS Energia, ao passo que, na cultivar BRS Paraguaçu houve diminuição em teores de água no solo inferiores a 12%, embora não tenha sido observada interação entre os fatores (Figura 8 G).

Por outro lado, aos 34 DAAT houve diferença significativa entre cultivares nos tratamentos de 20, 16, 9 e 7% em que a BRS Energia apresentou maior *WUE* com valores médios de 2,08; 2,42; 2,59 e 1,14 g/L em relação a cultivar BRS Paraguaçu que apresentou valores de 1,61; 2,00; 1,85 e -0,43 g/L, respectivamente (Figura 8 H). A variável *WUE* se mostrou sensível a variação dos teores de água no solo aos 34 DAAT, sobretudo para a cultivar BRS Paraguaçu, embora não tenha apresentado efeitos dos tratamentos aos 8 DAAT, isso pode ser associado ao curto período de tempo em que as cultivares estavam submetidas aos tratamentos.

A Figura 8H mostra que houve pouca variação da *WUE* aos tratamentos na cultivar BRS Energia em relação à BRS Paraguaçu e a partir disso, é possível afirmar que plantas da cultivar BRS Energia não requerem altos níveis de água no solo para apresentar rendimentos compensatórios de produtividade. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2004) em que a eficiência do uso da água ou coeficiente transpiratório para as plantas de *E. citriodora*, *E. grandis* e *B. brizantha*, praticamente, não variou, quando submetidas aos teores de água de 20% (condições próximas ao estresse), 23 % (intermediária) e 26 % (próximo a capacidade de campo), indicando ser uma característica da espécie. Coelho et al. (2005) afirmam que a eficiência do uso da água pode ser aumentada reduzindo-se a lâmina aplicável (evapotranspiração) de forma a não diminuir drasticamente a produtividade.

Embora em um intenso déficit hídrico, a cultivar BRS Paraguaçu tenha apresentado uma *WUE* negativa, sob maior disponibilidade hídrica houve um aumento da *WUE* chegando a 2,00 g/L. Estes resultados corroboram com os encontrados por Barros Júnior et al. (2008) em que constataram que a cultivar ao ser submetida ao tratamento de 100% AD (água disponível) supera em até 3,4 vezes àquelas mantidas a 60% de AD no que se refere a *WUE* com valor de 2,78 Kg/m³ e em algodoeiro Luz et al. 1998 observaram que a espécie atingiu a máxima *WUE* de 0,92 Kg/m³ quando submetido à irrigação.

A respeito da máxima eficiência técnica, houve diferença significativa entre as cultivares ($P < 0,05$) para WUE com pontos de máximos diferentes de 14,84% (BRS Paraguaçu) e 14,38% (BRS Energia) e uma eficiência máxima de 2,47 e 2,67 g/L, respectivamente, assim sendo, a cultivar BRS Energia atinge a sua eficiência máxima em um teor de água no solo inferior em relação à BRS Paraguaçu.

A menor eficiência registrada pela cultivar BRS Paraguaçu em relação à BRS Energia, pode ser atribuída, possivelmente, em virtude do declínio da condutância estomática durante a deficiência hídrica, a qual provoca redução na eficiência de assimilação através do processo fotossintético, uma vez que, a BRS Energia obteve valores de g_s superiores comparado a BRS Paraguaçu nos tratamentos de 9 e 7% (Figuras 8 e 10). Alguns autores sugerem que o declínio no WUE , decorre da diminuição na condutância estomática, a qual afeta com maior intensidade a taxa fotossintética do que a taxa transpiratória da folha (MACHADO et al., 1999; TAIZ; ZEIGER, 2004, 2009).

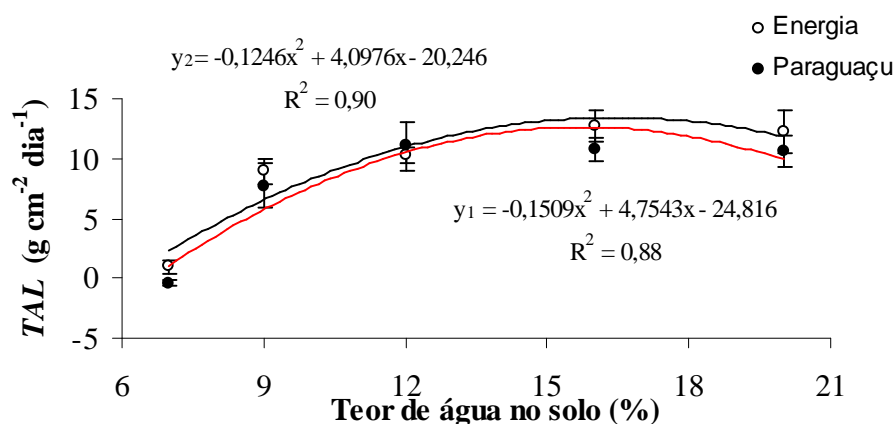


Figura 9. Taxa assimilatória líquida (TAL) das cultivares de mamona em função dos tratamentos 20 %; 16 %, 12 %; 9 % e 7 % aos 66 DAS final do período experimental. Y_1 = Equação de regressão da cultivar BRS Paraguaçu e Y_2 = Equação de regressão da cultivar BRS Energia.

A *TAL* diminuiu com o aumento do déficit hídrico, sobretudo na cultivar BRS Paraguaçu que apresentou uma *TAL* negativa ($-0,41 \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) sob menor disponibilidade hídrica, ao passo que, a *TAL* na cultivar BRS Energia foi positiva ($0,94 \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) (Figura 9).

As cultivares apresentaram comportamentos distintos para *A/gs*, *A/E* e *Ci/Ca* em função do déficit hídrico com interação significativa (Tabela 5).

Tabela 5. Níveis de significância da ANOVA comparando os efeitos dos teores de água no solo (A) e cultivares (C) e as interações entre teor de água no solo e cultivares (A*C) nas variáveis trocas gasosas em plantas de *R. communis* cvs. BRS Paraguaçu e BRS Energia submetidas aos tratamentos por 11 dias.

| Variáveis | Água(A) | Cultivar(C) | A*C |
|--------------|---------|-------------|-----|
| <i>A</i> | *** | ns | ns |
| <i>gs</i> | *** | ns | ns |
| <i>A/gs</i> | ns | *** | *** |
| <i>E</i> | *** | ns | ns |
| <i>A/E</i> | *** | *** | *** |
| <i>Ci/Ca</i> | ns | *** | *** |

$P > 0,05$ (ns), $P \leq 0,001$ (***)

Abreviações: Fotossíntese líquida (*A*); condutância estomática ao vapor de água (*gs*); eficiência intrínseca do uso da água (*A/gs*); transpiração foliar (*E*); eficiência instantânea de uso da água (*A/E*); e razão entre as concentrações intercelular e atmosférica de CO_2 (*Ci/Ca*).

A Figura 10 mostra o comportamento das variáveis de trocas gasosas para ambas as cultivares aos 11 DAAT.

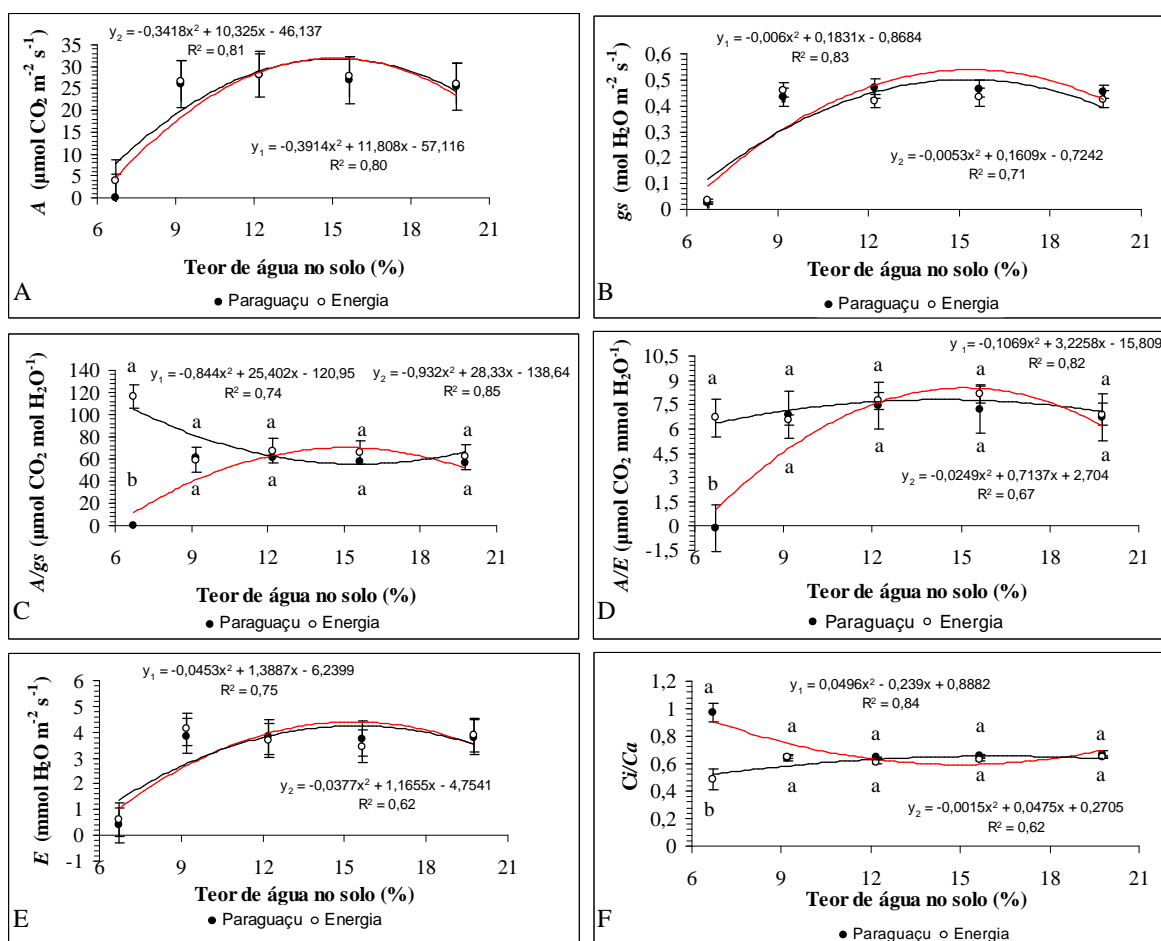


Figura 10. (A) Fotossíntese líquida (A); (B) condutância estomática ao vapor de água (g_s); (C) eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s); (D) eficiência instantânea de uso da água (A/E); (E) transpiração foliar (E) e (F) razão entre as concentrações intercelular e atmosférica de CO_2 (C_i/C_a) em duas cultivares de *R. communis* submetidas a diferentes condições hídricas 20 %; 16 %; 12 %; 9% e 7% aos 43 (DAS) ou 11 (DAAT). Letras indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre cultivares pelo teste t num mesmo nível de água. Y_1 = Equação de regressão da cultivar BRS Paraguaçu e Y_2 = equação de regressão da cultivar BRS Energia.

O fato da cultivar BRS Paraguaçu ter obtido uma WUE negativa sob a menor disponibilidade hídrica, pode ser associado a baixa taxa fotossintética líquida ($0,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

e intensa condutância estomática ($-0,02 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), indicando que o fechamento estomático afetou o processo de assimilação de carbono em função da deficiência hídrica, resultando na paralisação do crescimento (Figuras 8 e 10).

A proporção da queda de g_s foi superior a A , isso contribuiu para que as plantas da cultivar BRS Energia submetidas ao menor teor de água no solo tivessem maiores A/E e A/g_s com o decréscimo de g_s , indicando que o fechamento estomático contribuiu para otimizar a eficiência no uso da água nas plantas sob estresse. Plantas que reduzem rapidamente a condutância estomática são consideradas preventivas, enquanto espécies que mantêm os estômatos abertos, quando submetidos a déficits hídricos severos são tidas como tolerantes à seca Levitt (1980). Diante disso, é possível considerar que em intenso déficit hídrico, a cultivar BRS Energia previne à seca.

Segundo Larcher (2000) a melhor relação entre absorção de CO_2 e perda de H_2O é alcançada quando os estômatos estão parcialmente fechados. Esta situação pode ser demonstrada no início da deficiência hídrica, quando os dois processos de difusão são prontamente reduzidos e a relação fotossíntese/transpiração atinge os valores mais altos (Figura 10). Isso indica que os elevados valores de A/g_s e A/E encontrados em plantas da cultivar BRS Energia pode ser atribuído ao fechamento parcial dos estômatos, resultando em uma tendência do mecanismo estomático acompanhar a quantidade de água no solo, fechando os estômatos antes que ocorressem grandes alterações na fotossíntese líquida da planta (Figura 10).

Por outro lado, as plantas da cultivar BRS Paraguaçu apresentaram reduções consideráveis em A/E e A/g_s sob a menor disponibilidade hídrica. Reduções de g_s , com reflexos negativos sobre A e E , como efeitos imediatos da deficiência hídrica tem sido relatados em vários trabalhos (GOMES et al., 2002; TATAGIBA et al., 2008; WANG et al., 2007).

Coêlho e Oliva (1981) observaram em mandioca, pertencente à mesma família da mamoneira, que A/E decrescia rapidamente quando o TRA era reduzido a 80%. Os mesmos autores afirmam ainda que, alto valor de A/E associado a uma menor taxa transpiratória, e em condições de turgidez, sugere um comportamento conservador, enquanto que em uma situação contrária sugere um comportamento consumidor. Portanto, a cultivar BRS Energia sugere um comportamento conservador, ao passo que a cultivar BRS Paraguaçu é sensível a um intenso déficit hídrico, uma vez que, A/E decresceu quando o TRA foi reduzido a aproximadamente 30%. Segundo Hisiao (1993), sob condições idênticas, as diferenças na transpiração entre plantas resultam de diferenças na eficiência do controle estomático, o que tem implicações para a eficiência de uso da água pelas plantas. O controle estomático da transpiração, entretanto impõe limitações difusivas ao CO_2 que podem levar a um decréscimo na taxa fotossintética. Desse ponto de vista, estudos envolvendo relações hídricas e trocas gasosas em plantas submetidas à deficiência hídrica regulada são muito úteis para, por um lado, otimizar o uso de água pelas plantas e, por outro lado, gerar informações sobre as respostas das plantas ao déficit hídrico (CATTIVELLI et al., 2008).

Observou-se que A/E da cultivar BRS Energia se manteve em torno de $7 \mu\text{mol } CO_2 \text{ mmol } H_2O^{-1}$, independentemente dos tratamentos em que as plantas foram submetidas, ao passo que na cultivar BRS Paraguaçu foi observada redução em teores de água no solo inferiores a 16% (Figura 10). O controle estomático da transpiração é um mecanismo utilizado por muitas espécies para restringir a perda de água e superar os períodos de seca (NAVES-BARBIERO et al., 2000; SILVA et al., 2003) e parece indicar um comportamento conservador da mamoneira para evitar a excessiva perda de água.

A concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i) sob baixa condutância estomática foi maior na cultivar BRS Paraguaçu, sugerindo a ocorrência de limitações não-estomáticas à

fotossíntese (Figura 10). Machado et al. (1999) sugerem que o aumento de C_i , pode estar relacionado à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO_2 . Alguns pesquisadores têm verificado que com o aumento do estresse hídrico, fatores não estomáticos como redução da atividade e concentração da enzima Ribulose 1-5 bifosfato carboxilase oxigenase (*Rubisco*), fotoinibição, taxa de transferência de elétrons e redução da eficiência fotoquímica de PSII, podem prejudicar a fotossíntese (FLEXAS; MEDRANO, 2002; LAWLOR, 2002; LAWLOR; CORNIC, 2002; GRASSI; MAGNANI, 2005).

4 CONCLUSÕES

As cultivares BRS Energia e BRS Paraguaçu quando submetidas à boa disponibilidade hídrica apresentam comportamento similar, entretanto, em condições de severa seca a cv. Energia consegue manter seus tecidos mais hidratados, seguida de maior otimização da eficiência do uso da água em relação à cv. Paraguaçu, podendo ser considerada como uma cultivar que apresenta elevada capacidade de prevenir à seca.

A mamoneira tem a assimilação de carbono diminuída apenas sob deficiência hídrica severa (-0,18 MPa), sugerindo que a utilização da técnica da irrigação deficitária pode ser viável.

5 REFERÊNCIAS

BAJJI, M., KINET, J-M., LUTTS, S. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. **Plant Growth Regulation**. p. 1-10, 2001.

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F. LACERDA, R. D. Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 350-355, 2008.

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D.; OLIVEIRA, J. M. C. Efeito do déficit de água no solo sobre a relação raiz/parte aérea nas cultivares de mamona BRS 149 e BRS 188. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracaju-SE, **Resumos**. Aracaju-SE, 2006.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; CAVALCANTI, M. L. F.; BARROS, A. D. Análise de crescimento da mamoneira submetida ao estresse hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande-PB. **Resumos**. Campina Grande-PB, 2004.

BELTRÃO, N. E. de. M.; AZEVEDO, D. M. P. de.; LIMA, R. L. S. de.; QUEIROZ, W. N. de.; QUEIROZ, W. C. de. Ecofisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de.; BELTRÃO, N. E. de. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina grande, PB) 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, p.45, 2007.

BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G.; SANTOS, J. W. Estresse hídrico (deficiência e excesso) e seus efeitos no crescimento inicial da mamoneira, cultivar BRS 188 Paraguaçu. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.7, n.2/3, p.735-741, 2003.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; SANTOS, A. O. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1531-1540, 2000.

BOLAND, A. M.; MITCHELL, P. D.; JERIE, P. H.; GOODWIN, I. The effect of regulated deficit irrigation on tree water use and growth of peach. **Journal Horticulturae Science**, 68, 261-274, 1993.

CATTIVELLI, L., RIZZA, F., BADECK, F-W., MAZZUCOTELLI, E., MASTRANGELO, A. M.; FRANZIA, E., MARÈ, C., TONDELLI, A., STANCA, A. M. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v. 105, p. 1-14, 2008.

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

COELHO, K. J. F.; OLIVA, M. A. Eficiência no uso de água em plantas jovens de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) submetidas à deficiência hídrica. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.2, n.1, p. 20-30, 1981.

COSTA, R. N. T.; COLARES, D. S.; SAUNDERS, L. C. U.; SOUZA, F. Análise das eficiências de aplicação e de uso da água em cultivo de arroz no perímetro irrigado Morada Nova, CE. **Irriga**, Boticatu, v.10, n.4, p.372-382, 2005.

CRUZ, A. C. R. **Consumo de água por cultura de citros em latossolo vermelho amarelo**. 2003. 92 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Queiroz, Piracicaba, 2003.

DALSASSO, L.C.M.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M.; STRECK, N.A.; DALMAGO, G.A. Consumo d'água do tomateiro tipo salada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.61-67, 1997.

DODD, I.C. Soil moisture heterogeneity during deficit irrigation alters root-to-shoot signaling of abscisic acid. **Functional Plant Biology**, v. 34, p. 439-448, 2007.

DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Indicators of water stress in corn (*Zea mays* L.). **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.64, n.3, p.537-546, 1984.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (Campina Grande, PB). **BRS: (Energia)**. Campina Grande, 2008. Folder.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (Campina Grande, PB). **BRS: (Paraguaçu)**. Campina Grande, 2008. Folder.

ENNAHLI, S.; EARL, H. J. Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress. **Crop Science**. v, 45, p. 2374–2382, 2005.

FARIA FILHO, A. F., ARAUJO, Q. R. **Zoneamento do meio físico do município de Ilhéus, Bahia, Brasil, utilizando a técnica de geoprocessamento.** Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico n. 187 20p, 2003.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n.2, p. 147-159, 2007.

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal** 1. 2 ed. São Paulo: EPU, 1985. 362p.

FLEXAS, J., MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**. 89, 183–189, 2002.

FREIRE, E. C.; LIMA, E. F.; ANDRADE, F. P. de.; MILANI, M.; NÓBREGA, M. B. de. M. Melhoramento Genético. In: AZEVEDO, D. M. P. de.; BELTRÃO, N. E. de M. **O agronegócio da mamona no Brasil.** Embrapa Algodão (Campina grande, PB) 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, p. 174, 2007.

GHOLZ, H.L., EWEL, K.C., TESKEY, R.O. Water and forest productivity. **Forest Ecology. Management.** v.30, n.1, p.1-18, 1990.

GOMES, F.P., MIELKE, M.S., ALMEIDA, A-A.F. Leaf gas exchange of green dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. var. *nana*) in two contrasting environments of the Brazilian north-east region. **Journal of Horticultural Science Biotechnology** 77, 766-772, 2002.

GRASSI, G., MAGNANI, F. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. **Plant, Cell and Environmental.** 28, 834–849, 2005.

HSIAO, T.C. Growth and productivity of crops in relation to water status. **Acta Horticulturae**, v. 335, p. 137–147, 1993.

HUNT, R. **Basic growth analysis.** Unwin Hyman, 112p. 1990.

JENKS, M. A.; EIGENBRODE, S.; LEMEIX, B. Cuticular waxes of *Arabidopsis*. **In the Arabidopsis Book**, C. Somerville and E. Meyerowitz, eds., American Society of Plant

Physiologists, Rockville, 2002. Disponível em [http:// www.aspb.org/publications/arabidopsis/](http://www.aspb.org/publications/arabidopsis/)
Acesso em 23/05/10.

KANG, S.; ZHANG, L.; XIAOTAO, H.; LI, Z.; JERIE, P. An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. **Science Horticulturae**. 89, 257–267, 2001.

KIM, S.H., LIETH, J.H. A coupled model of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration for a rose leaf (*Rosa hybrida* L.). **Annals of Botany**. v. 91, p. 771-781, 2003.

KIRNAK, H.; DEMIRTAS, M. N. Effects of different irrigation regimes and mulches on yield and macronutrition levels of drip-irrigated cucumber under open field conditions. **Journal Plant Nutrition**. v. 29, 1675–1690, 2006.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plant and soils**. Academic Press, New York. 1995.

LACERDA, R. D.; GUERRA, H. O. C.; BARROS JÚNIOR, G. Influência do déficit hídrico e da matéria orgânica do solo no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS 188 – Paraguaçu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.4, p.440-448, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA. 531p, 2000.

LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata versus metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**. v. 89, p. 871–885, 2002.

LAWLOR, D.W., CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plants. **Plant, Cell Environment**. v. 25, p. 275–294, 2002.

LEVITT, J. **Responses of Plants to Environmental Stresses**. II. Water, Radiation, Salt and Other Stresses. Academic Press, New York, 607 p. 1980.

LUZ, M. J. S.; BEZERRA, J. R. C.; BARRETO, A. N. Efeito do estresse hídrico em diversas fases do ciclo do algodoeiro sobre a fenologia e a eficiência do uso de água da cultivar BR 1, em Condado, PB. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.2, n. 3, p. 209-214, 1998.

MACHADO, E. C., MEDINA, C. L., GOMES, M. M. A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranjeira “Valença”. **Bragantia**, v.58, p.217-226, 1999.

MAO, X.; LIU, M.; WANG, X.; LIU, C.; HOU, Z.; SHI, J. Effects of deficit irrigation on yield and water use of greenhouse grown cucumber in the North China Plain. **Agricultural Water Management**. v. 61, 219–228, 2003.

NASCIMENTO, R. Efeito de diferentes disponibilidades de água sobre alguns parâmetros de crescimento de plantas de mamona em estágio vegetativo. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.22, n.2, p.45-47, 2007.

NAVES-BARBIERO, C. C.; FRANCO, A. C.; BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.12, p.119-134, 2000.

OLIVEIRA, F. A. de.; CAMPOS, T. G. da. S.; OLIVEIRA, B. C. Efeito de tensões de água no solo sobre o rendimento do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1905-1911, 1999.

PAVEL, E. W.; VILLIERS, A. J. Responses of mango trees to reduced irrigation regimes. **Acta Horticulturae**. v. 646, 63–68, 2004.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PEREIRA, M. N. B.; AZEVEDO, N. C.; FERNANDES, P. D.; AMORIM NETO, M. S. Crescimento e desenvolvimento de duas cultivares de algodoeiro herbáceo em baixos níveis de umidade no solo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p.1-7, 1997.

PINTO, C, M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**. 2006. 80f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2006.

PULUPOL, L. U, BEHBOUDIAN, M. H, FISHER, K. J. Growth, yield and postharvest attributes produced under deficit irrigation. **Horticulturae Science** 31, 926–929, 1996.

ROMERO, P., BOTÍA, P. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 158-173, 2006.

SANTOS, A. B. A.; KLAR, A. E.; JADOSKI, C. J. Parâmetros fisiológicos de cultivares de cevada sob déficits hídricos. **Irriga**, v.13, n.4, p. 438-448, 2008.

SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo**. 2007. 71p. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Porto Alegre – RS, 2007.

SCHOLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., BRADSTREET, E.D., HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**. v. 148, p. 339–46, 1965.

SCHURR, U.; HECKENBERGER, U.; HERDEL, K.; WALTER, A.; FEIL, R. Leaf development in *Ricinus communis* during drought stress: dynamics of growth processes, of cellular structure and of sink-source transition. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 51, n. 350, p. 1515-1529, 2000.

SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. do; SANTOS, J. W. dos. **Método para determinação da área foliar da mamoneira**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55. EMBRAPA ALGODÃO (Campina Grande, PB), 20p, 2005.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água na folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v.17, p. 231-246, 2003.

SILVA, W. da.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A da.; CARDOSO, A. A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 325-335, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Piracicaba, Artmed. 720p. 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Artmed, 848p, 2009.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, v. 38, n. 2.p. 387-400, 2008.

TESTI, L.; VILLALOBOS, F. J.; ORGAZ, F.; FERERES, E. Water requirements of olive orchards: I simulation of daily evapotranspiration for scenario analysis. **Irrigation Science**. v. 24, p. 69–76, 2006.

TORRES NETO. A. **Atributos fisiológicos e relações hídricas em genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) na fase juvenil**. 2005. 116p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2005.

VERREYNNE, J. S.; RABE, F.; THERON, K. I. The effect of combined deficit irrigation and summer trunk girdling on the internal fruit quality of ‘Marisol’ Clementines. **Scientia Horticulturae**. 91, 25–37, 2001.

WANG, MING-CHUN.; WANG, JIN-XIN.; SHI, QING-HUA.; ZHANG, JIN-SONG. Photosynthesis and water use efficiency of *Platycladus Orientalis* and *Robinia Pseudoacacia* saplings under steady soil water stress during different stages of their annual growth period. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.49, n.10: 1470–1477, 2007.

WERKENA, M. C. C.; AGUIAR. **Análise de regressão: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, p.227-240, 1996.

WU, F.; BAO, W.; LI, F.; WU, N. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, p. 248–255, 2008.

**TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM *Ricinus communis* L.
SUBMETIDA AO DÉFICIT HÍDRICO REGULADO**

RESUMO

A mamoneira é uma oleaginosa pouco exigente em água, que cresce muito bem em condições tropicais e proporciona rendimentos elevados de óleo cerca de 48%. É, portanto, uma cultura apropriada para a agricultura do Nordeste do Brasil. Objetivou-se com este estudo estimar a eficiência do uso da água e as trocas gasosas em mamoneira cultivar BRS Energia submetida a déficit de irrigação regulado. O experimento foi realizado no período de 08 de julho a 18 de setembro de 2009, em condições de casa de vegetação no campus da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA. Durante todo o período experimental o solo foi mantido com quatro teores de água no solo (tratamentos) 13% (controle); 11%; 9% e 7% com vasos dispostos em delineamento inteiramente casualizado. Tanto para fitomassa total (*FT*) quanto para o consumo hídrico cumulativo no período de 27 dias apresentaram comportamentos semelhantes, uma vez que, as plantas submetidas ao tratamento de 13% (73,43g e 22,03L) tiveram uma queda em relação ao tratamento de 11% (52,81g e 14,65L), 9% (18,08g e 4,10L) e 7% (10,72g e 1,98L), diferentemente da eficiência do uso da água em fitomassa *WUE* (g/L) que aumentou com a diminuição do teor de água no solo. No período de 18 dias de déficit hídrico e em condições de casa de vegetação, não foram observadas reduções na máxima eficiência quântica do fotossistema II (*F_v/F_m*), indicando que não houve danos ao aparato fotossintético. Ao se observar as limitações mesofílicas (*L_m*) e estomáticas (*L_s*) calculadas a partir da injeção de CO₂ verificou-se que os fatores estomáticos foram mais importantes em plantas submetidas aos teores de água no solo de 13 e 11%, enquanto que os fatores não estomáticos foram mais importantes em teores de água no solo de 9 e 7%. Apesar do tratamento de 7% ter apresentado maior *WUE* foram observadas reduções na assimilação de carbono, baixa eficiência de carboxilação e limitação mesofílica, resultando em plantas com baixo rendimento.

Palavras-chave: mamoneira, assimilação de carbono, fluorescência, limitação estomática.

**GAS EXCHANGE AND WATER USE EFFICIENCY IN *Ricinus communis* L.
SUBMITTED TO DEFICIT IRRIGATION**

ABSTRACT

Castor bean is an oilseed little demanding in water, that grows well in tropical conditions and provides high yields of oil around 48%. It is, therefore, an appropriate culture for agriculture in northeastern Brazil. The objective of this study to estimate the water use efficiency of and gas exchange in castor bean cultivar BRS Energia subjected to regulation deficit irrigation. The experiment was conducted from 8 July to 18 September 2009, in conditions of a greenhouse at the Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA. During the experimental period the soil was maintained in the following amounts of water contents: 13% (control), 11%, 9% and 7% with pots disposed in randomized design. Both for phytomass total (*PT*) and for the cumulative water consumption in the period of the 27 days showed similar, since the plants under treatment of 13% (73,43g and 22,03 L) had a decrease in relation to treatment of 11% (52,81 g and 14,65 L), 9% (18,08 g and 4,10 L) and 7% (10,72 g and 1,98 L), unlike the water use efficiency of phytomass *WUE* (g/L) increased with decreasing content soil water. During 18 days of drought and under conditions of a greenhouse, there were no reductions in the maximum quantum efficiency of photosystem II (*F_v/F_m*), indicating that there was no damage to the photosynthetic apparatus. Ao se observar as limitações mesofílicas (*L_m*) and estomata (*L_s*) calculadas a partir da injeção de CO₂ verificou-se que os fatores estomatais foram mais importantes para plantas expostas a conteúdo de água do solo de 13 e 11%, enquanto os fatores não estomatais tornaram-se importantes em conteúdos de água do solo de 9 e 7%. Embora o tratamento 7% apresentasse maiores *WUE* foram observadas reduções na assimilação de carbono, menor eficiência de carboxilação e limitação mesofílica, resultando em plantas com baixa produtividade.

Key words: Castor, carbon assimilation, fluorescence, stomatal limitation.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da mamona está em evidência devido ao incentivo à produção de biodiesel, o que deverá exigir grandes áreas de plantio para atender a demanda do mercado de combustíveis. No entanto, para que a ampliação da oferta dessa matéria-prima seja bem sucedida, é necessário desenvolver um conjunto de conhecimentos que permitam a obtenção de maior produção, para que essa cultura faça frente a outras opções como a soja, o amendoim e o girassol, cuja tecnologia de produção é mais aprimorada (FANAN et al., 2009).

O cenário de mudanças climáticas globais sugere um aumento da aridez em muitas áreas do mundo. Neste cenário, a deficiência hídrica em conjunto com altas temperaturas e altas irradiâncias, é o mais importante limitador ambiental da sobrevivência e produtividade vegetal. Dessa forma, um melhor entendimento dos efeitos da seca sobre as plantas é vital para fornecer práticas de manejo e técnicas de melhoramento na agricultura e compreender os efeitos sobre a distribuição da vegetação (SAUSEN, 2007).

A otimização da eficiência do uso da água (*WUE*) de forma a contribuir para a sustentabilidade dos recursos hídricos pode ser alcançada de duas formas: com base nas curvas de respostas físicas da produtividade, onde a *WUE* é calculada como a razão entre a produtividade e a evapotranspiração da cultura. O aumento da *WUE* pode ser feito atuando-se no numerador da razão, aumentando a produtividade para a mesma quantidade de água aplicada/evapotranspirada ou reduzindo o denominador da razão, isto é, a lâmina aplicável/evapotranspiração de forma a não diminuir, significativamente, o numerador ou a produtividade. Esta segunda alternativa implicaria na manutenção de uma alta eficiência do sistema de irrigação, elevando a *WUE* pela redução da lâmina real necessária durante as fases de crescimento e desenvolvimento consideradas críticas para as plantas, sem comprometimento significativo potencial esperado. Na

Espanha é possível a redução de 20% a 40% do fornecimento de água em pomares cítricos com redução de 5% a 15% na produtividade (COELHO et al., 2005).

Em um dos estudos realizados com déficit de irrigação foi associado ao paclobutrazol (PBZ) utilizado para retardar o crescimento e induzir a tolerância ao estresse leve foram realizados por Fernández et al. (2006) em que o PBZ reduziu a área foliar, o comprimento das raízes finas, e aumentou a razão raiz-parte aérea e a densidade estomática, elevando a *WUE* e induzindo a tolerância a seca.

A *WUE* está sujeita principalmente aos controles meteorológicos pelo estado do solo, da água, temperatura e umidade do ar, radiação solar total, o ângulo do sol e da fração relativa de radiação difusa. Esses fatores exercem influências diretas e indiretas sobre a atividade dos estômatos e o CO_2 e posterior troca de água a nível de folha (YANG et al., 2010).

A potencialidade produtiva da cultivar BRS Energia, associada ao cultivo, precocidade e sua relevante importância social e econômica sobre o País, especialmente para a Região Nordeste, demanda ainda informações do seu cultivo sob irrigação (SILVA et al., 2008). Estudos envolvendo relações hídricas e trocas gasosas em plantas submetidas à deficiência hídrica regulada são muito úteis para, por um lado, otimizar o uso de água pelas plantas e, por outro lado, gerar informações sobre as respostas das plantas ao déficit hídrico (CATTIVELLI et al., 2008).

Para tanto, faz-se necessário a realização de pesquisas em torno de fatores que influenciam a sua produção, tais como: genética, nutrição, técnicas de cultivo, o uso de água pela cultura, entre outros. Destes, a questão do uso da água (evapotranspiração) pela mamoneira é um tema pouco estudado e escasso na literatura. Objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos do déficit hídrico regulado nas trocas gasosas, crescimento e eficiência do uso da água em uma cultivar precoce de mamoneira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO

Devidos aos escassos estudos referentes a cultivar BRS Energia lançada em 2007, considerada altamente produtiva e precoce, achou-se necessário melhor explorar a cultivar, realizando um maior refinamento dos dados de trocas gasosas.

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, no *campus* da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), localizada próxima à região urbana do município Ilhéus, BA (14°47'00" S, 39°02'00" W), no período entre 08 de julho de 2009 a 18 de setembro de 2009 com plantas de *Ricinus communis* (L.), cultivar BRS Energia que foi desenvolvida em rede pela Embrapa, EBDA e Emparn e lançada em 2007. Tem porte baixo, em torno de 1,40m, ciclo entre 120 e 150 dias, caule verde com cera, cachos cônicos com tamanho médio de 60 cm, frutos verdes com cera e indeiscentes. As sementes pesam entre 0,40g e 0,53g com as cores marrom e bege, contendo 48% de óleo. A produtividade média experimental é de 1.500 kg/ha em regime de sequeiro e deve ser plantada em espaçamentos de 1x1m. Os testes foram realizados nos Estados do Ceará, Sergipe, Alagoas, Rio Grande do Norte e Bahia (EMBRAPA, 2008).

Conforme classificação climática de Köppen, o clima local é do tipo Af, com temperaturas médias anuais variando de 22 a 25°C, sendo maiores e com menor amplitude térmica na faixa costeira (FARIA FILHO; ARAÚJO, 2003).

As sementes foram adquiridas da EMBRAPA Algodão cuja sede é em Campina Grande, (PB) e passaram por um processo de embebição por 2 horas para acelerar o processo de germinação e por tratamento químico, no qual se utilizou o fungicida sistêmico Derosal® ml/L. A cultivar de mamona BRS Energia foi cultivada durante 72 dias em vasos com capacidade para quarenta e dois litros de substrato, contendo como substrato areia e solo (3:1), classificado como

franco-arenoso, de acordo a análise granulométrica do substrato, o qual continha 60 dag/kg de areia grossa, 16 dag/kg de areia fina, 9 dag/kg de silte e 15 dag/kg de argila, proveniente do município de Ilhéus-BA, previamente preparado segundo análise química do substrato com pH de 4,47; 0,67 cmol_c/dm³ de Al; 4,23 cmol_c/dm³ de H; 0,19 cmol_c/dm³ de Ca; 0,08 cmol_c/dm³ de Mg; 0,4 cmol_c/dm³ de P 8 mg/dm³ de K; 103 mg/dm³ de Fe; 1,17 mg/dm³ de Zn; 0,5 mg/dm³ de Cu e 1,7 mg/dm³ de Mn.

Após a correção do pH e da adição de superfosfato triplo na adubação de formação, procedeu-se o enchimento de cada vaso, em seguida o solo foi irrigado até a capacidade de campo, e posteriormente, foram colocadas para germinar cinco sementes por vaso. A semeadura foi realizada dia 08/07/09. Na adubação de plantio foram utilizados calcário dolomítico (PRNT 90,87%) na proporção de 1,55 g dm⁻³, superfosfato triplo (1,37 g dm⁻³) e formulação contendo (N, K, S, B, Cu, Mg, Zn e Mn) na proporção de 0,6 g dm⁻³. As adubações potássica e nitrogenada de cobertura com proporções de 10 mg dm⁻³ e 80 mg dm⁻³, respectivamente, foram realizadas mensalmente, aplicando uma dose de 100 ml/vaso. Após vinte e dois dias da semeadura (30/07/09) quando as plantas tinham de 10 a 12 cm de altura, foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso. Os tratamentos foram iniciados dia 22/08/09 (20 dias após o corte da irrigação) até que todos os vasos estivessem com os teores de água correspondentes aos tratamentos, sobretudo, ao tratamento de menor disponibilidade hídrica. Ao iniciar os tratamentos, as plantas já se encontravam em fase reprodutiva e foram submetidas a diferentes condições hídricas e quantidades definidas de água, de modo a manter o solo, durante todo o período experimental com teores de água no solo 13 %, 11 %, 9 % e 7 %, nos quais de posse dos valores de peso da fitomassa de planta, peso de solo seco e peso do vaso, estes eram descontados e os teores de água no solo para cada tratamento eram determinados.

O controle da quantidade de água a ser aplicada em cada tratamento e a avaliação do consumo de água foi realizado por meio de pesagens diárias dos vasos com uma balança. Antes de cada irrigação, todos os vasos eram pesados e a diferença entre o peso atual e aquele correspondente e o teor de água de cada tratamento correspondia ao peso (volume) da água de reposição.

O consumo de água de cada tratamento em volume e o consumo cumulativo foram computados e anotados, de forma que a eficiência deste consumo fosse determinada pela relação entre o peso da matéria seca total e o volume de água efetivamente consumido em cada tratamento.

A técnica utilizada no experimento foi o de déficit de irrigação regulado (DIR), no qual consiste na aplicação de menor quantidade de água do que a estimada pelos os métodos de determinação da necessidade hídrica das culturas (ROMERO; BOTÍA, 2006; DODD, 2007).

O experimento foi conduzido segundo o delineamento experimental completamente ao acaso, com quatro teores de água no solo (13 %, 11 %, 9 % e 7 %) e quatro repetições por tratamento, totalizando 16 plantas.

A disponibilidade de radiação luminosa foi obtida a partir de mensurações da radiação fotossinteticamente ativa acumulada (RFA, mol fotóns m⁻²/dia), entre 05:30 às 17:30h utilizando sensores de radiação luminosa S-LIA-M003 acoplados a estação climatológica Hobo Micro Station Data Logger (Onset Coputer, Massachusetts, EUA). As condições de temperatura (T °C) e umidade relativa do ar (UR %), durante todo o período experimental, foram registradas por meio de sensores Hobo H8 Pro (Onset, Coputer, Massachusetts, EUA). A estimativa dos graus-dia acumulados foi obtida mediante a equação: $GD_{acum} = \sum (T_{med} - T_b)$, sendo GD_{acum} (°C) os graus-dia acumulados a partir do primeiro dia após a emergência da mamoneira, a T_{med} a temperatura

média do dia e T_b a temperatura base inferior utilizada para a mamoneira foi de 16°C, segundo (BELTRÃO et al., 2007).

Durante todo o período experimental, foram realizados o controle de plantas daninhas, pragas (mosca branca) e doenças.

2.2 MEDIÇÕES DAS TROCAS GASOSAS FOLIARES

As trocas gasosas foram realizadas aos 57 DAS ou 12 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT) entre 8:00 e 12:00h da manhã medidas na parte mediana das folhas fisiologicamente maduras e completamente expandidas de quatro repetições por tratamento com um sistema portátil de medição de fotossíntese Li-6400 (Li-Cor, USA). A taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar (A), condutância estomática ao vapor de água (g_s) e transpiração (E) foram medidos utilizando o sistema portátil de medição de fotossíntese Li-6400 (LI-COR Biosciences Inc., Nebraska, USA). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), concentração de CO₂ atmosférico (C_a) e temperatura foliar foram fixados para, respectivamente, 1200 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e 26°C.

2.2.1 DETERMINAÇÃO DAS LIMITAÇÕES ESTOMÁTICA E MESOFÍLICA RELATIVA

Aos 57 DAS ou 12 DAAT foram realizadas as medições da limitação estomática relativa (L_s) e a limitação mesofílica relativa (L_m) da fotossíntese em três repetições por tratamento em que foram estimadas utilizando-se o injetor de CO₂ do IRGA, sendo mantida uma taxa constante de CO₂ atmosférico de aproximadamente 800 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Os valores de L_s foram calculados a partir da fórmula $L_s = 100 \times (A_0 - A)/A_0$, onde A e A_0 correspondem a taxa fotossintética líquida

em concentração de CO₂ ambiente ($C_a \approx 380 \mu\text{mol mol}^{-1}$) e em concentração de CO₂ saturante ($C_s \approx 800 \mu\text{mol mol}^{-1}$), respectivamente (FARQUHAR; SHARKEY, 1982). Os valores de L_m foram estimados a partir da fórmula $L_m = 100 \times (A_C - A_S)/A_C$, onde A_C e A_S correspondem a taxa fotossintética líquida determinada em concentração de CO₂ saturante ($C_s \approx 800 \mu\text{mol mol}^{-1}$) das plantas controle e estressadas respectivamente (JACOB; LAWLOR, 1991).

2.2.2 MEDIÇÕES DA EMISSÃO DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A

A emissão de fluorescência da clorofila foi medida na parte mediana de folhas fisiologicamente maduras e completamente expandidas de quatro repetições por tratamento. As medições foram efetuadas aos 62 DAS ou 18 (DAAT) utilizando também o IRGA (Li-Cor Nebraska, USA) modelo LI-6400, com câmara 6400-40. As folhas foram inicialmente adaptadas ao escuro por 30 min por meio de um clip foliar para a reflexão da radiação solar, o decréscimo da temperatura foliar e a oxidação de todo o sistema de transporte fotossintético de elétrons e determinação da fluorescência inicial (F_0). Os sinais de fluorescência foram registrados no sistema de aquisição de dados do LI-6400 que calculou automaticamente as fluorescências mínima (F_0), máxima (F_m), variável (F_v), o rendimento quântico potencial máximo de fotossistema 2 (PSII) (F_v/F_m) (EHLERINGER, 1981). O rendimento quântico de PSII $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$, foi calculado usando os parâmetros F_0 e F_m (obtidos após o primeiro pulso de saturação das curvas de luz) (ROHÁČEK, 2002).

2.2.3 CURVAS DE SATURAÇÃO DA FOTOSSÍNTESE EM RESPOSTA À RADIAÇÃO LUMINOSA (CURVAS DE LUZ)

Aos 56 DAS ou 11 (DAAT) foram realizadas curvas de saturação da fotossíntese em resposta à radiação luminosa, as quais foram obtidas com um sistema portátil de medição de fotossíntese (IRGA *Infrared Gas Analyzer*), modelo Li-6400 (Li-Cor, Biosciences Inc., Nebraska, EUA), equipado com uma fonte de luz artificial 6400-02B RedBlue SI-925 em folhas da parte mediana de folhas fisiologicamente maduras e completamente expandidas de quatro repetições por tratamento. Por meio da rotina *Light Curve* do software Open 3.4, foram realizadas medições de trocas gasosas em diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa incidente na superfície foliar (PARI). As sequências sempre começaram dos valores superiores para os inferiores. Para cada repetição estimou-se a eficiência quântica aparente (α , inclinação da reta) e a taxa respiratória no escuro (R_d , ponto onde a reta toca o eixo y) por meio de um modelo linear do tipo $An = \alpha RFA + R_d$, para $I < 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (ESCALONA et al., 1999). A taxa fotossintética líquida máxima (An_{max}) foi estimada por meio do ajuste um modelo exponencial do tipo $An = A_{max}(1 - \exp(-\alpha (RFA/A_{max}))) - R_d$, onde A_{max} é a taxa fotossintética bruta máxima ($An_{max} = A_{max} - R_d$) (GOMES et al., 2006). Parâmetros derivados das curvas de saturação pela irradiância foram estimados por meio do ajuste dos dados medidos a modelos exponenciais (GOMES et al., 2006, 2008).

2.3 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

As medições do potencial hídrico foliar ‘pre-dawn’ ou ante-manhã (Ψ_{PD}) no período entre 04:30 às 05:00h da manhã foram realizadas aos 6 DAAT, no qual com o auxílio de um estilete foram retiradas folhas fisiologicamente maduras e completamente expandidas de quatro repetições por tratamento que imediatamente eram levadas a câmara de pressão 1000 (PMS

Instrument Company, EUA), realizando-se a pressurização de maneira lenta, observando a saída da seiva por meio de uma lupa de acordo a metodologia descrita por (SCHOLANDER, 1965). A temperatura média para o dia no período foi de 18,2 °C com umidade relativa de 95,4%.

2.4 DETERMINAÇÃO DA FITOMASSA

A determinação da fitomassa foi realizada através de uma única coleta destrutiva realizada aos 72 DAS ou 27 DAAT final do estudo experimental, nas quais quatro repetições por tratamento foram divididas em raiz, caule, folhas e frutos colocadas em sacos de papel e secados em estufa de ventilação forçada de ar a 75°C por 72 horas até fitomassa constante. Em seguida, foram pesadas em balança para obtenção da fitomassa das diferentes partes.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de regressão, tendo como variável independente o teor de água no solo e ajustadas regressões lineares e não lineares, sendo escolhida aquela com maior valor do R^2 e possível explicação biológica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental a temperatura do ar variou de 23,07 °C a 28,01 °C. A umidade relativa do ar (UR) variou de 62,77% a 90,85% e a radiação fotossinteticamente ativa acumulada (PAR), de 6,24 a 23,40 mol fótons m⁻²/dia. O maior valor da temperatura registrado culmina com o menor valor de UR e maior PAR (Figura 1). O graus-dia acumulado (GD_{acum}) foi de 1669,15 °C. Este valor foi menor em relação ao experimento I, uma vez que, a temperatura durante o período do estudo é mais amena.

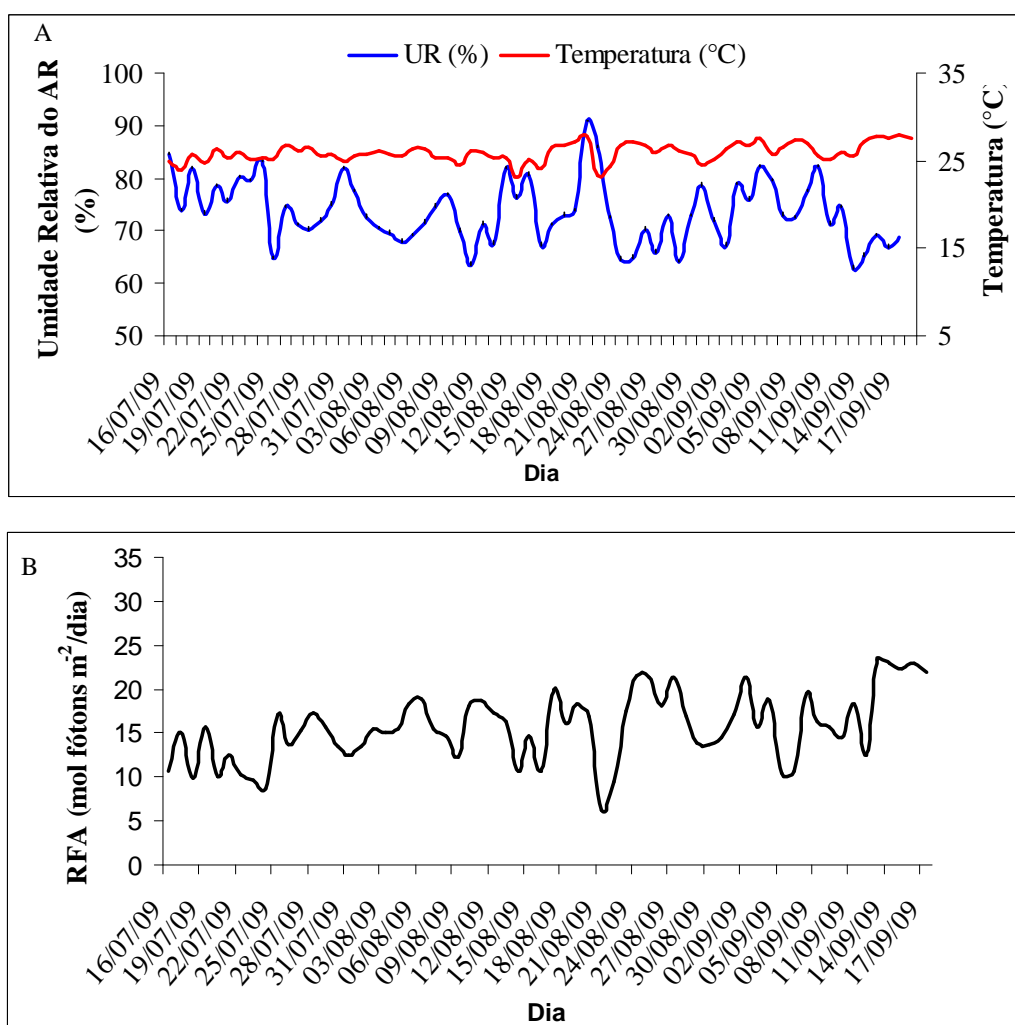


Figura 1. (A) Dados médios diários da Umidade Relativa do AR (%), Temperatura do ar (°C) e (B) RFA acumulada (mol fótons m⁻²/dia) no interior da casa de vegetação, referentes ao período entre 08 de julho de 2009 a 18 de setembro de 2009 na Fazenda Santa Cruz, Ilhéus, Bahia.

Aos 27 DAAT o potencial hídrico ‘pre-dawn’ (Ψ_{PD}) apresentou um comportamento quadrático, onde o tratamento controle (13%) foi maior (-0,13 MPa) em relação aos tratamentos de 11% (-0,33 MPa), 9% (-0,45 MPa) e 7% (-0,40 MPa) (Figura 2). Diminuições do potencial hídrico com o decréscimo da disponibilidade hídrica foram reportados por Mendes et al. (2007) em feijão - de - corda; Gonçalves et al. (2009) e Costa e Marengo (2007) em andiroba e Silva et al. (2003) em espécies lenhosas de *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Tabebuia áurea* e Angelopoulos et al. (1996) em *Olea europaea*.

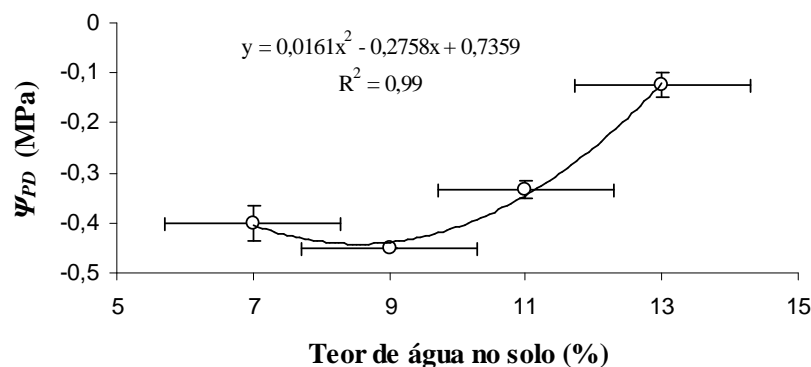


Figura 2. Potencial hídrico foliar ‘pre-dawn’ (Ψ_{PD}) de *Ricinus communis* cv. Energia aos 6 DAAT, cultivada sob diferentes teores de água no solo: 13%, 11%, 9% e 7%.

Houve efeito quadrático para as variáveis diâmetro do coleto, área foliar e fitomassa total com diminuições conforme o teor de água no solo era reduzido. Por outro lado, a altura da planta foi reduzida linearmente. As reduções foram na proporção de 14,24; 50,84; e 60,33% para AP, 2,60; 48,37 e 25,32% para DC, % para AF, 28,08; 75,37 e 85,40% para FT (Figura 3). Tais resultados corroboram com os de Barros Júnior et al. (2004), que observaram os efeitos dos níveis de água sobre o crescimento da mamoneira cvs. Nordestina e Paraguaçu e constataram reduções significativas na altura de planta e diâmetro do caule da mamoneira com o estresse

hídrico, de modo que, as plantas submetidas aos tratamentos de 40 e 60% praticamente paralisaram o seu desenvolvimento.

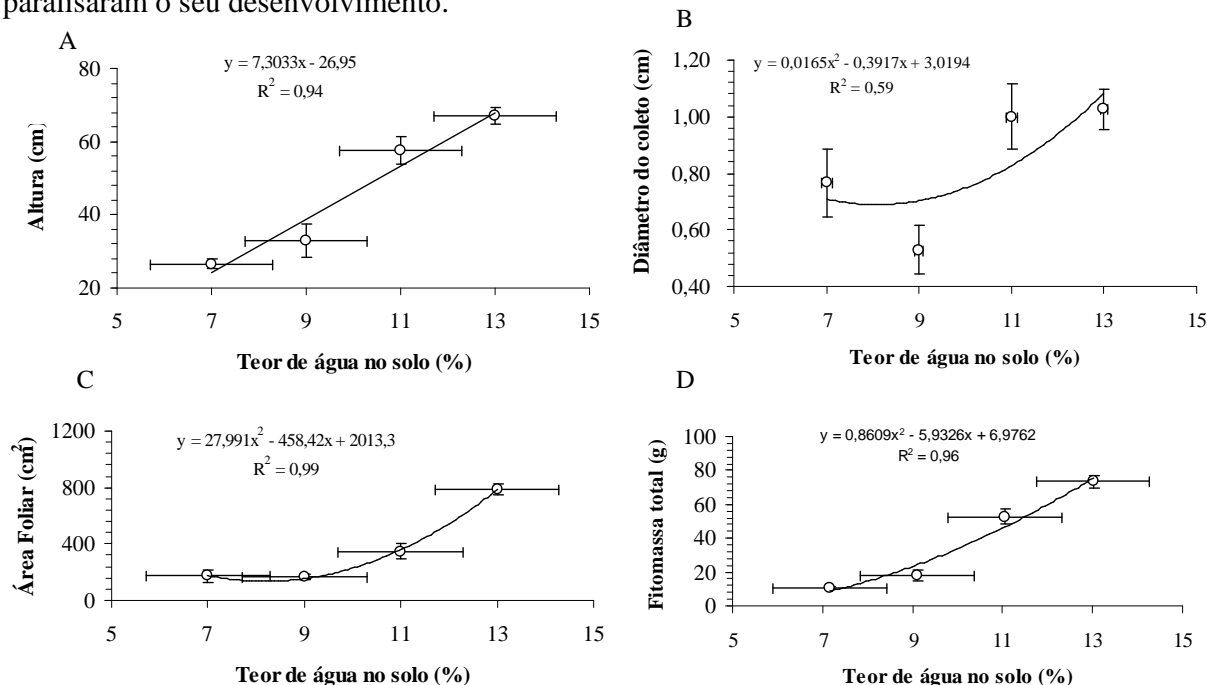


Figura 3. Altura, diâmetro do coleto, área foliar e fitomassa total de *R. communis* cv. Energia aos 27 DAAT, cultivada sob diferentes teores de água no solo: 13%, 11%, 9% e 7%.

As reduções no crescimento da parte aérea causada pelo déficit hídrico vieram acompanhadas de reduções na área foliar, diâmetro do caule, altura da planta, fitomassa de raiz e razão parte aérea/raiz (Figuras 3 e 4).

Foram verificadas reduções nas variáveis de crescimento, conforme o déficit hídrico aumentava na ordem de 33,77; 79,49 e 87,79% para *FPA*, 10,27; 47,69 e 69,25% para *FR*, 39,05; 61,24 e 61,38% para razão *PA/R* dos tratamentos de 11, 9 e 7% em relação ao tratamento de 13% (controle), respectivamente (Figura 4).

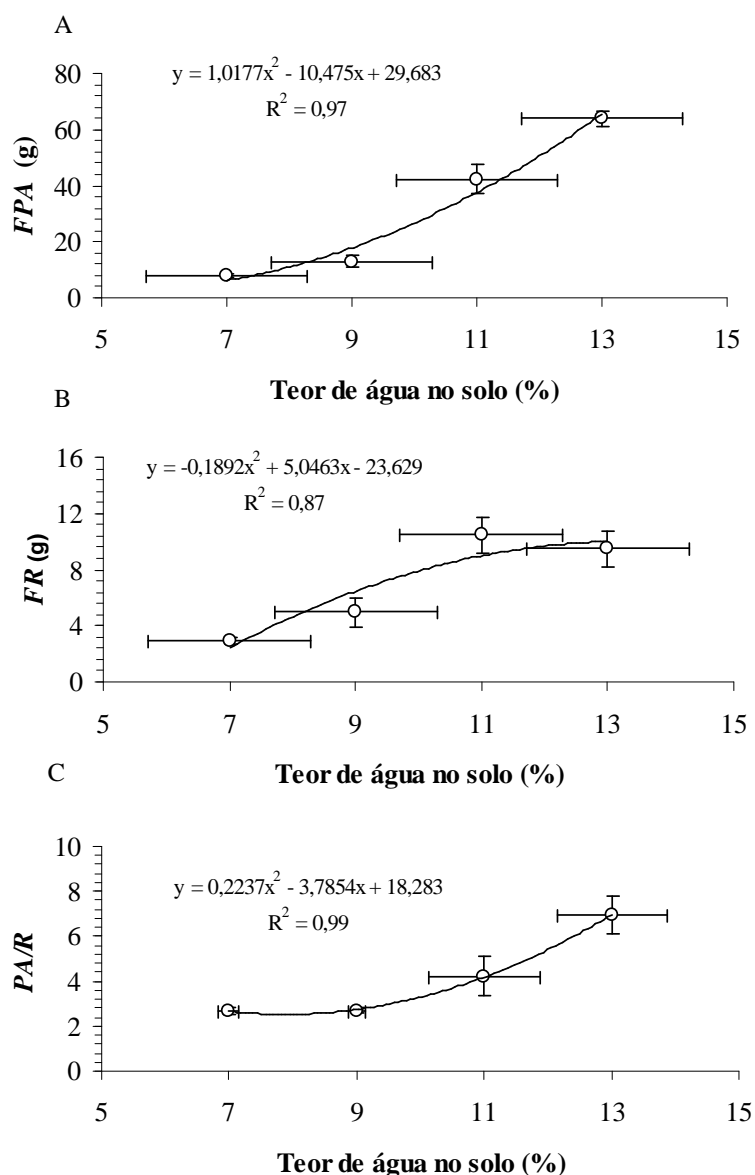


Figura 4. (A) Fitomassa de parte aérea (FPA), (B) fitomassa de raiz (FR) e (C) razão parte aérea e raiz (PA/R) de *R. communis* cv. Energia aos 27 DAAT, cultivada sob diferentes teores de água no solo: 13%, 11%, 9% e 7%.

O déficit hídrico afetou em maior proporção a parte aérea em detrimento da raiz. De acordo Zhu (2002), além dos efeitos sobre a expansão celular, os efeitos negativos do déficit hídrico sobre a fotossíntese e a absorção de íons contribuem para a redução nas taxas de crescimento. A redução do crescimento é considerada como uma característica adaptativa para a sobrevivência da planta, pois permite direcionar assimilados e energia, antes utilizados para o

crescimento do caule, em moléculas protetoras para combater o estresse. De acordo com Jones e Sutherland (1991), a parte aérea é o componente da planta mais afetado pela baixa disponibilidade de água no solo, pois a redução no seu crescimento ocorre antes da redução no crescimento das raízes. Na mamoneira não foi observado incremento em raiz em função da deficiência hídrica, isso pode ser atribuído ao fato de que as plantas ao estarem em estágio reprodutivo, o crescimento das raízes foi menos pronunciado, já que a competição por assimilados para produção de frutos foi maior. De acordo Taiz e Zeiger (2009) durante o déficit hídrico, os assimilados são dirigidos para os frutos e para longe das raízes.

O consumo hídrico acumulativo obtido a partir do início da aplicação dos tratamentos até o período final do experimento foi maior no tratamento de 13% (controle), seguido pelos tratamentos de 11, 9 e 7%, superados pelo controle em 33,50; 81,39 e 91,01%, respectivamente (Figura 5 B).

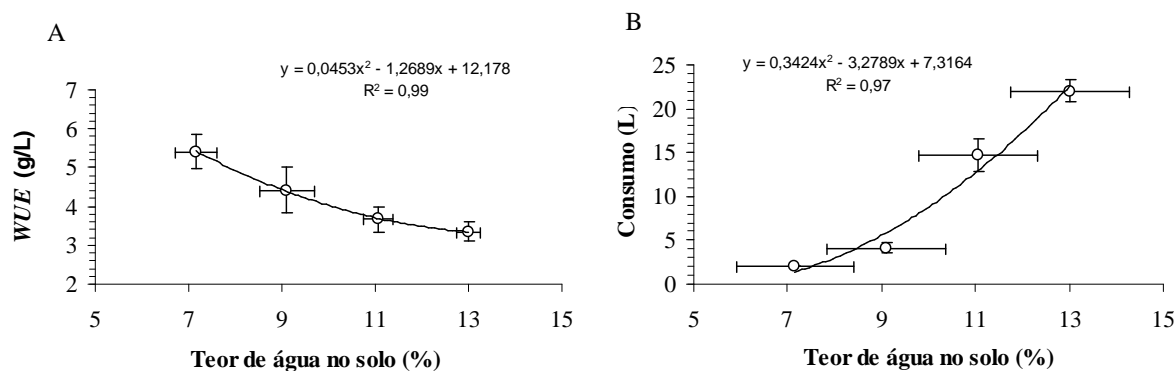


Figura 5. (A) Eficiência do uso da água em biomassa (*WUE*) e (B) Consumo hídrico acumulativo em *R. communis* cv. Energia submetida a diferentes teores de água no solo: 13 %; 11 %; 9 % e 7 % aos 27 DAAT.

Por outro lado a *WUE* apresentou comportamento inverso, em que as plantas submetidas à menor disponibilidade hídrica apresentaram maior *WUE* (Figura 5 A). Estes resultados estão de acordo com os autores que afirmam, que uma elevada *WUE* pode ser atribuída às características como um baixo rendimento, tais como plantas pequenas, que reduzem o uso de água

(ANDERSON et al., 2003, CLAVEL et al., 2005, FENGIUN et al., 2006, LIU et al., 2005). Situações semelhantes foram observadas por Wang et al. (2007) em *Platyclusus orientalis* e *Robinia pseudoacacia* duas espécies de regiões semi-áridas; Souza et al. (2008) realizando estudos com mamoneira cultivar BRS Energia, observaram que houve um decréscimo na *WUE* com o incremento da lâmina aplicada, sendo o máximo valor, correspondente a $0,72 \text{ Kg/m}^3$ com um regime de 60% da ETc e Monteiro et al. (2008) em que observaram que a *WUE* decresceu com o aumento das lâminas de água aplicada na produção de melão, tendo em vista que a produtividade da cultura não aumentou, proporcionalmente, mais do que o incremento das lâminas de água. Por outro lado, Wu et al. (2008) e Al-Barrak (2006) observaram que em culturas com o *Sophora davidii* e *Triticum aestivum vulgare*, respectivamente, relatam que a *WUE* decresce com o aumento do estresse hídrico. Doorenbos e Pruitt (1997) afirmam que variedades comprovadamente produtivas, quando manejadas em um patamar ótimo de disponibilidade hídrica e que recebam, no momento oportuno, os insumos necessários à produção agrícola, podem apresentar rendimentos até 04 vezes superiores às aquelas que, embora com os demais insumos disponibilizados, são submetidas a déficit hídrico.

É importante ressaltar que embora a *WUE* tenha sido maior sob menor disponibilidade hídrica, todas as variáveis de crescimento, sobretudo fitomassa total foram afetados, uma vez que, aos 27 DAAT as plantas controle consumiram em média 0,82 L/dia, ao passo que, as plantas submetidas ao tratamento de 7% consumiram em média 0,07 L/dia, resultando em perdas consideráveis de fitomassa (Figura 5).

De acordo a Figura 6, foi observado um comportamento quadrático para todas as variáveis de trocas gasosas avaliadas, sendo que as plantas quando submetidas à deficiência hídrica reduziram fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática ao vapor de água (*gs*), eficiência intrínseca do uso da água (*A/gs*), transpiração (*E*) e eficiência instantânea do uso da água (*A/E*). Já

quando a disponibilidade hídrica do solo não é um fator limitante, a mamoneira apresenta altas taxas de transpiração e fotossíntese. Estes resultados corroboram com os encontrados por Cavalcante e Conforto (2006) em seringueira e Nogueira e Santos (2000) em amendoim e Almeida Neto et al. (2008) em mamoneira BRS Energia em que A aumentou com o aumento da lâmina de irrigação, sendo esse aumento de 10,14% entre o menor (60%) e o maior (140%) nível de irrigação, enquanto que g_s houve um incremento de 32,35% e um aumento de C_i de 2,38% em relação entre as lâminas de 60% e 80%.

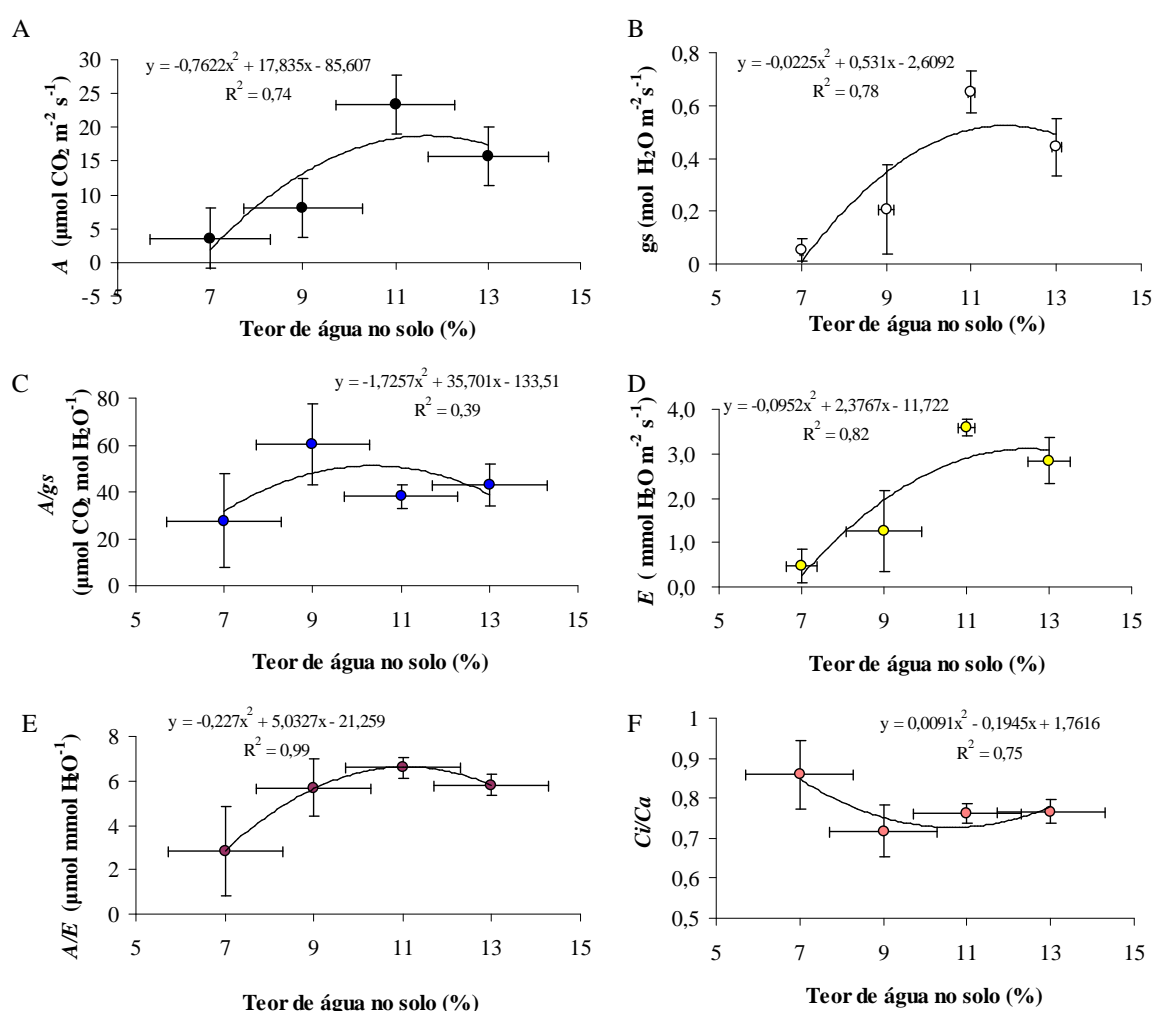


Figura 6. (A) Fotossíntese líquida (A), (B) condutância estomática ao vapor d'água (g_s), (C) eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s), (D) transpiração (E), (E) eficiência instantânea de uso da água (A/E), (F) razão das concentrações interna e atmosférica de CO_2 (C_i/C_a) em *R. communis* cv. Energia cultivada nos teores de água no solo: 13 %; 11 %; 9 % e 7 % aos 57 (DAS) ou 12 (DAAT).

Teores de água no solo inferiores a 11% fizeram com que houvesse reduções em A , g_s , E e A/E (Figura 6 A, B, D e E). Por outro lado a razão C_i/C_a apresentou comportamento inverso com maior valor observado no tratamento de 7% de água no solo (Figura 6 F). O aumento da razão C_i/C_a no tratamento de 7% pode ser atribuído a limitação mesofílica, seguido de uma baixa eficiência de carboxilação. Segundo Farquhar e Sharkey (1982) um alto valor de C_i , associado aos baixos valores de g_s , pode indicar um decréscimo na eficiência de carboxilação.

Sob maior déficit hídrico (7% de teor de água no solo) foi observado que as plantas apresentaram os menores valores de todas as variáveis de trocas gasosas estudadas, sobretudo para A/g_s e A/E , exceto para a razão C_i/C_a (Figura 6 C, E e F). De acordo Taiz e Zeiger (2009) à medida que o estresse torna-se rigoroso, no entanto, a desidratação de células do mesofilo inibe a fotossíntese, o metabolismo do mesofilo é prejudicado e a eficiência do uso da água geralmente decresce.

Tanto a A/g_s quanto A/E das plantas submetidas ao tratamento 7% foram reduzidas em relação aos demais tratamentos quando g_s foi de $0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, indicando que o fechamento dos estômatos não contribuiu para otimizar a eficiência do uso da água nas plantas sob maior estresse (Figura 6 C e E). Estes resultados diferem dos encontrados por Sausen (2007) que avaliou a A/E em mamoneira cv. BRS Nordestina e constatou o seu aumento em plantas sob estresse hídrico severo ($\Psi_w = -1,6$ a $-2,1$ MPa) e GOMES et al. (2002) em estudos com coco observaram que razões A/E e A/g_s tiveram uma tendência a ser superiores em condições de deficiência hídrica.

As curvas de saturação da fotossíntese pela irradiância foram realizadas desconsiderando o tratamento mais seco 7 %, pois este apresentava valores negativos de fotossíntese e valores muito reduzidos para as variáveis. As plantas submetidas ao tratamento de 9% apresentaram uma redução

de A_{max} na ordem de 97,37 e 97,66%, α na ordem de 86,67 e 88,57% em relação aos tratamentos de 13 e 11%, respectivamente (Figura 7 A e B). Para Rd houve um decréscimo sob a menor disponibilidade hídrica com $0,20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 7 C).

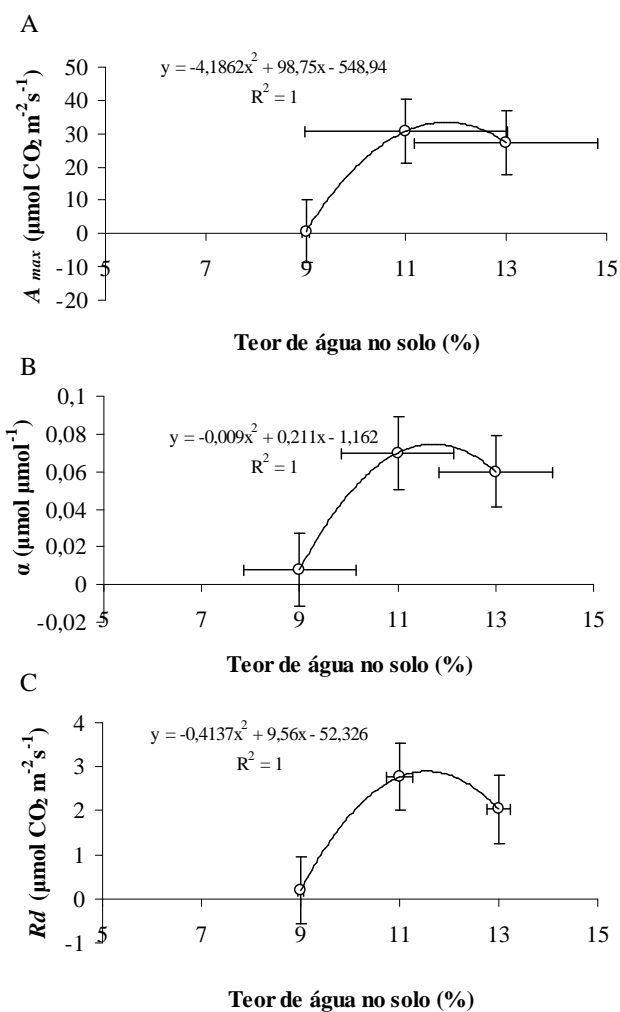


Figura 7. Valores médios estimados derivados das curvas de saturação da fotossíntese pela irradiância. Taxa fotossintética líquida saturada pela irradiância $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (A_{max}), rendimento quântico aparente $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ fótons (α) e taxa respiratória na ausência de luz $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Rd) em plantas de *R. communis* cv. Energia cultivada sob diferentes teores de água no solo: 13 %, 11 % e 9 % realizada aos 56 (DAS) ou 11 DAAT.

De acordo os valores máximos medidos das variáveis de trocas gasosas tiveram seus valores reduzidos sob a menor disponibilidade hídrica (Figura 8).

Embora as plantas submetidas ao tratamento de 11% tivessem apresentado maior A_{sat} , isso não contribuiu para que as mesmas tivessem maior fitomassa (Figuras 3 D e 8 A). Os tratamentos controle e 11% apresentaram os maiores valores de g_s (0,89 e 0,79 mol H₂O m⁻²s⁻¹) e E (4,88 e 4,47 mmol H₂O m⁻²s⁻¹), respectivamente, e os menores valores foram observados nos tratamentos de 9 e 7%, com valores de g_s (0,01 e 0,01 mol H₂O m⁻² s⁻¹) e E (0,17 e 0,13 mmol H₂O m⁻² s⁻¹), respectivamente (Figura 8 B e C).

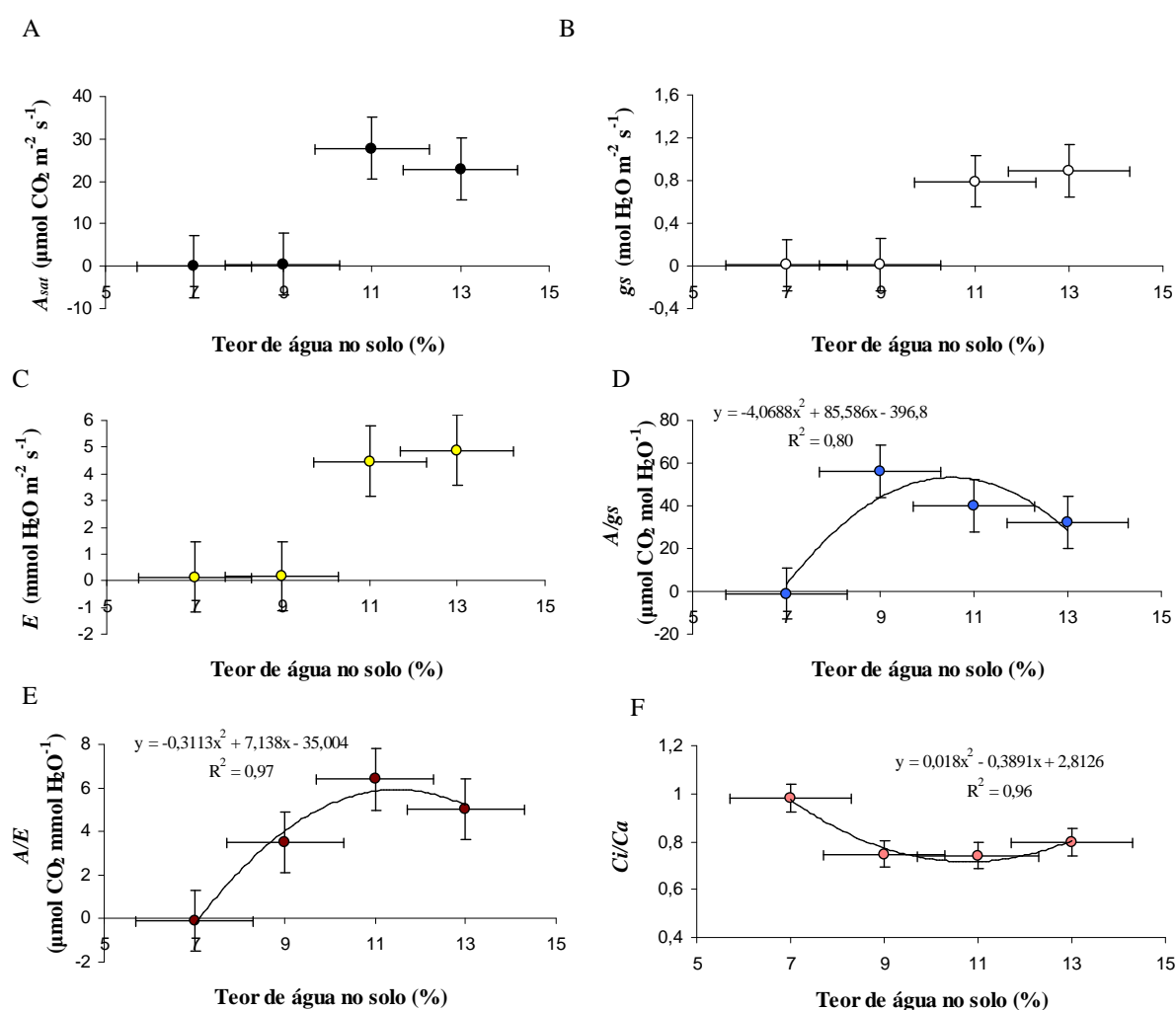


Figura 8. Valores máximos medidos ($RFA \geq 1000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) das vari\u00e1veis de trocas gasosas em plantas de *R. communis* cv. Energia cultivadas sob diferentes teores de \u00e1gua no solo: 13 %, 11 %, 9 % e 7 % realizada aos 56 (DAS) ou 11 DAAT. (A) Taxa de assimila\u00e7\u00e3o de CO₂ (A_{sat}), (B) condut\u00e2ncia estom\u00e1tica ao vapor de \u00e1gua (g_s), (C) transpira\u00e7\u00e3o foliar (E), (D) efici\u00eancia intr\u00ednseca do uso da \u00e1gua (A/g_s), (E) efici\u00eancia instant\u00e2nea do uso da \u00e1gua (A/E), (F) raz\u00e3o da concentra\u00e7\u00e3o interna e atmosf\u00e9rica de CO₂ (C_i/C_a).

Sob menor disponibilidade hídrica, as A/g_s e A/E se tornaram negativas, devido ao fechamento estomático intenso, chegando a $0,01 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 8 D e E), apresentando valores irrealistas, uma vez que, não é possível a ocorrência de eficiência negativa, resultando em valores negativos de A_{sat} ($-0,03 \text{ } \mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 8 A), ao passo que, E mantinha valor positivo ($0,13 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 8 C), ou seja, o efluxo de H_2O foi maior do que o influxo de CO_2 em plantas submetidas ao tratamento de 7%. Segundo Taiz e Zeiger (2009) isso pode ser atribuído a diferença de concentração de CO_2 no ar considerada baixa (cerca de 0,038%) e da concentração relativamente alta de vapor d'água dentro da folha e a proporção na difusão de CO_2 que é 1,6 mais lenta pelo ar que a água.

C_i/C_a foi maior no tratamento com menor disponibilidade hídrica com valor de 0,98, representando um aumento de 18,37; 24,49 e 23,47% em relação aos tratamentos de 13, 11 e 9%, respectivamente, isso pode ser atribuído a ocorrência de baixa eficiência de carboxilação, uma vez que, as plantas submetidas a este tratamento apresentaram taxa de assimilação de CO_2 negativa (Figura 8 A e F). Resultados semelhantes foram encontrados por Tezara (2005) em que o aumento de C_i foi seguida de uma queda da eficiência da carboxilação, sugerindo uma perda da atividade da rubisco durante a seca.

De acordo a Figura 9 durante o período experimental não foram observadas reduções significativas na máxima eficiência quântica do PSII (F_v/F_m), indicando que não houve danos ao aparato fotossintético. A eficiência do PSII em condições de escuro, expressa pela razão F_v/F_m , em experimentos realizados em casa de vegetação geralmente não é afetada, sendo considerada resistente a condições de estresse hídrico (PRAXEDES et al., 2006; TEZARA et al., 2005). O fotossistema II é resistente ao déficit hídrico, não sendo afetado (LU; ZHANG, 1998) ou sendo afetado somente sob condições de severa seca (SACCARDY et al., 1998).

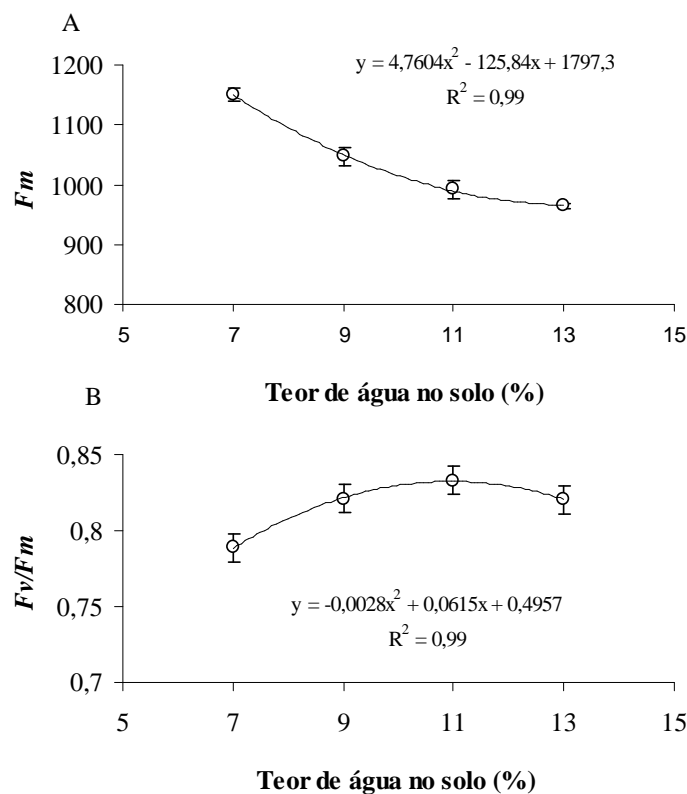


Figura 9. (A) Fluorescência inicial máxima (F_m) e (B) rendimento quântico máximo de PSII (F_v/F_m) em plantas de *R. communis* cv. Energia submetidas a diferentes teores de água no solo: 13 %; 11 %; 9 % e 7 % realizada aos 62 DAS ou 18 (DAAT).

A retirada dos valores médios de limitação estomática referentes aos teores de água no solo de 9 e 7%, se deve ao fato de que apresentavam valores surreais (>100%) devido à deficiência hídrica a qual as plantas estavam submetidas, o que resultou em uma baixa condutância estomática. As médias da limitação mesofílica foram comparadas ao tratamento de 11% ao invés de serem comparadas ao controle (13%), uma vez que, no referido tratamento foi observado maior valor de limitação mesofílica comparado ao controle (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de limitações estomática (*Ls*) e mesofílica (*Lm*) da atividade fotossintética em plantas de *R. communis* cv. Energia submetidas a diferentes teores de água no solo realizada aos 12 DAAT. Valores médios de três repetições (\pm EP)

| Teor de água no solo (%) | <i>Ls</i> (%) | <i>Lm</i> (%) |
|--------------------------|--------------------|--------------------|
| 13 | 45,57 \pm 3,37 a | 25,07 \pm 3,98 b |
| 11 | 49,44 \pm 1,56 a | |
| 9 | | 94,91 \pm 1,87 a |
| 7 | | 98,36 \pm 0,15 a |

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Plantas submetidas ao tratamento de 11% tiveram um incremento de *Ls* na ordem de 7,83%, quando comparadas às plantas controle. Com relação à *Lm*, houve uma tendência a ser maior, conforme o déficit hídrico aumentava com incrementos na proporção de 73,59 e 74,51% dos tratamentos de 9 e 7%, respectivamente, em relação ao controle (Tabela 1). De acordo Grassi e Magnani (2005), conforme haja um aumento da intensidade da seca aumenta em maior proporção a limitação não estomática mais do que a limitação estomática. Os resultados estão de acordo com os relatos de outros autores, onde a limitação não-estomática aumenta em resposta ao estresse hídrico (ESCALONA et al., 1999; TEZARA et al., 2002, 2003).

Em um estudo realizado por Tezara (2005), em condições de seca, a *Ls* em *Jatropha gossypifolia* diminuiu 27%, seguida de diminuições do Ψ_w e *A*, e aumento em *Lm* de 51%. Segundo Flexas et al. (2002), em condições de seca, há um decréscimo de *gs*, acompanhado por decréscimos em *A*, com o aumento na limitação mesofílica.

Os altos valores de *Lm* próximos a 100% encontrados no tratamento de 9 e 7 % (94,91 e 98,36%), respectivamente, podem ser atribuídos a deficiência hídrica (Tabela 1). Alguns estudos revelam que fatores não-estomáticos, como por exemplo, redução da atividade e concentração da enzima Ribulose 1-5 bifosfato carboxilase oxigenase (rubisco), fotoinibição e redução da

eficiência fotoquímica do fotossistema II, podem estar envolvidos na limitação não-estomática da fotossíntese (FLEXAS; MEDRANO, 2002; LAWLOR, 2002; LAWLOR; CORNIC, 2002; GRASSI; MAGNANI, 2005).

De acordo Flexas et al. (2008) mudanças na condutância do mesófilo, tanto em curta duração (minutos, horas) ou a longo prazo (dias ou anos) de acordo as variações ambientais, incluindo luz, temperatura, água, salinidade, e de CO₂ podem ser importantes na regulação da fotossíntese em resposta ao ambiente.

De um modo geral, a limitação estomática se mostrou mais importante em plantas submetidas aos teores de água no solo de 13 e 11%, enquanto que os fatores não estomáticos sobrepuseram em plantas submetidas aos teores de água no solo de 9 e 7%.

4 CONCLUSÕES

A cultivar BRS Energia quando submetida a estresse severo reduziu consideravelmente a assimilação de carbono, resultando em plantas com baixo rendimento, embora tenha apresentado elevada eficiência do uso da água em fitomassa.

Em condições de casa de vegetação e por curto período de tempo, o déficit hídrico regulado não resultou em danos ao aparato fotossintético, visto que não foram observadas reduções na máxima eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m).

Estudos posteriores, com a cultivar BRS Energia, com o intuito de avaliar a eficiência do uso da água em produção de bagas por água consumida em condições de campo serão importantes para o maior conhecimento da cultivar precoce, tais informações serão úteis em futuros programas de melhoramento, visando a obtenção de plantas com maior eficiência do uso da água.

5 REFERÊNCIAS

AL-BARRAK, K. M. Water use efficiency in wheat grown under drought conditions. **Journal of Biological Sciences**, v. 6, n. 2, p. 408-411, 2006.

ALMEIDA NETO, A. J.; MEDEIROS, J. F.; PORTO FILHO, F. Q.; DOMBROSKI, J. L. D.; PEREIRA, F. H. F.; OLIVEIRA, C. J. S.; SOUSA, P. S.; OLIVEIRA, A. M. S. Comportamento fisiológico de plantas de mamona cultivar BRS Energia submetida a diferentes espaçamentos e lâminas de irrigação. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador-BA. **Resumos**. Salvador-BA, 2008.

ANDERSON, R. L., TANAKA, D. L., MERRIL, S.D. Yield and water use of broadleaf crops in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, v. 58, p. 255–266, 2003.

ANGELOPOULOS, K.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 301, p. 1093-1100, 1996.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; CAVALCANTI, M. L. F.; BARROS, A. D. Análise de crescimento da mamoneira submetida ao estresse hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande-PB. **Resumos**. Campina Grande-PB, 2004.

BELTRÃO, N. E. de. M.; AZEVEDO, D. M. P. de.; LIMA, R. L. S. de.; QUEIROZ, W. N. de.; QUEIROZ, W. C. de. Ecofisiologia. In: AZEVEDO, D. M. P. de.; BELTRÃO, N. E. de. M. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina grande, PB) 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, p.45, 2007.

CATTIVELLI, L., RIZZA, F., BADECK, F-W., MAZZUCOTELLI, E., MASTRANGELO, A. M.; FRANCA, E., MARÈ, C., TONDELLI, A., STANCA, A. M. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v. 105, p. 1-14, 2008.

CAVALCANTE, J. R.; CONFORTO, E. C. Fotossíntese e relações hídricas de duas cultivares jovens de seringueira. **Revista Brasileira de Botânica**, v.29, n.4, p.701-708, 2006.

CLAVEL, D.; DRAME, N. K.; ROY-MACAULE, H.; BRACONNIER, S.; LAFFRAY, D. Analysis of early responses to drought associated with field drought adaptation in four Sahelian

groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars. **Environmental and Experimental Botany**. v. 54, p. 219–230, 2005.

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

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229-234. 2007.

DODD, I.C. Soil moisture heterogeneity during deficit irrigation alters root-to-shoot signaling of abscisic acid. **Functional Plant Biology**, v. 34, p. 439-448, 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1997. 204p.

EHLERINGER, J. Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. **Oecologia**. 102, 366–370, 1981.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (Campina Grande, PB). **BRS: (Energia)**. Campina Grande, 2008. Folder.

ESCALONA, J.M., FLEXAS, J., MEDRANO, H. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. **Australian Journal of Plant Physiology**. 26, 421–433. 1999.

FANAN, S.; MEDINA, F. P.; CAMARGO, P. B. M.; GALBIERI, R. Descrição de características agronômicas e avaliação de épocas de colheita na produtividade da mamoneira cultivar IAC 2028. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.415-422, 2009.

FARIA FILHO, A. F., ARAUJO, Q. R. **Zoneamento do meio físico do município de Ilhéus, Bahia, Brasil, utilizando a técnica de geoprocessamento**. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico n. 187 20p, 2003.

FARQUHAR, G. D., SHARKEY, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**. v. 33, p. 317–345, 1982.

FENGIUN, Z., ROGNFU, G., YINGBAI, S., XIAOHUA, S., BINGYU, Z. Foliar carbon isotope composition ($^{13}\delta$) and water use efficiency of different *Populus deltoids* clones under water stress. **Front. For. China**, v. 1, p. 89–94, 2006.

FERNÁNDEZ, J. A.; BALENZATEGUI, L.; BAÑÓN, S.; FRANCO, J. A. Induction of drought tolerance by paclobutrazol and irrigation deficit in *Phillyrea angustifolia* during the nursery period. **Scientia Horticulturae**, v. 107, p. 277-283, 2006.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; ESCALONA, J. M.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. **Functional Plant Biology**, Collingwood, v.29, p. 461-471, 2002.

FLEXAS, J., MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C_3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**. 89, 183–189, 2002.

FLEXAS J, RIBAS-CARBO M, DIAZ-ESPEJO A, GALMÉS, J, MEDRANO H. Mesophyll conductance to CO_2 : current knowledge and future prospects. **Plant, Cell and Environment**, v. 31, p. 602–621, 2008.

GOMES, F.P., MIELKE, M.S., ALMEIDA, A-A.F. Leaf gas exchange of green dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. var. *nana*) in two contrasting environments of the Brazilian north-east region. **Journal of Horticultural Science Biotechnology** 77, 766-772, 2002.

GOMES, F. P., OLIVA, M. A., MIELKE, M. S., ALMEIDA, A-A. F., LEITE, H. G. Photosynthetic irradiance-response in leaves of dwarf coconut palm (*Cocos nucifera* L. 'nana', Areaceae): comparison of three models. **Scientia Horticulturae**. v. 109, p. 101–105, 2006.

GOMES, F.P., OLIVA, M.A., MIELKE, M.S., ALMEIDA, A-A.F., LEITE, H.G., AQUINO, L.A. Photosynthetic limitations in leaves of young Brazilian Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. 'nana') palm under well-watered conditions or recovering from drought stress. **Environmental and Experimental Botany**. v. 62, p. 195–204, 2008.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.8-14, 2009.

GRASSI, G., MAGNANI, F. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. **Plant, Cell and Environmental**. 28, 834–849, 2005.

JACOB, J., LAWLOR, D.W. Stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in phosphate deficient sunflower, maize and wheat plants. **Journal of Experimental Botany**. 42, 1003–1011, 1991.

JONES, H. G.; SUTHERLAND, R. A. Stomatal control of xylem embolism. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, p. 607-612, 1991.

LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata versus metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**. v. 89, p. 871–885, 2002.

LAWLOR, D.W., CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plants. **Plant, Cell Environment**., v. 25, p. 275–294, 2002.

LIU, F., ANDERSEN, M.N., JACOBSEN, S.E., JENSEN, C.R. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying. **Environmental and Experimental Botany**. v. 54, p. 33–40, 2005.

LU, C.; ZHANG, J. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 25, p. 883-892, 1998.

MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.

MONTEIRO, R. O. C.; COSTA, R. N. T.; LEÃO, M. C. S.; AGUIAR, J. V. Eficiência do uso da água e nitrogênio na produção de melão. **Irriga**, Botucatu, v. 13, p. 367-377, 2008.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.41-45, 2000.

PRAXEDES, S. C.; DAMATTA, F.M.; LOUREIRO, M. E.; FERRÃO, M. A. G.; CORDEIRO, A. T. Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. *kouillou*) leaves. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 263–273, 2006.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning and mutual relationships. **Photosynthetica**, v.40 p.13-29, 2002.

ROMERO, P., BOTÍA, P. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 158-173, 2006.

SACCARDY, K.; PINEAU, B.; ROCHE, O.; CORNIC, G. Photochemical efficiency of photosystem II and xanthophyll cycle components in *Zea mays* leaves exposed to water stress and high light. **Photosynthesis Research**, Heidelberg, v. 56, p. 57-66, 1998.

SAUSEN, T. L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo**. 2007. 71p. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Porto Alegre – RS, 2007.

SCHOLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., BRADSTREET, E.D., HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**. v. 148, p. 339–46, 1965.

SILVA, S. M. S.; BELTRÃO, N. E. M.; GONDIM, T. M. S.; DIAS, J. M.; VASCONCELOS, R. A.; CONCEIÇÃO, J. L. A. Características da mamoneira BRS Energia sob diferentes populações de plantas e lâminas de irrigação. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador – BA. **Resumos**. Salvador-BA, 2008.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água na folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v.17, p. 231-246, 2003.

SOUZA, P. S.; PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F. MESQUITA, T. O.; OLIVEIRA, C. J. S.; ALMEIDA NETO, A. J. DIAS, A. F. S. Eficiência do uso da água pela mamoneira sob diferentes lâminas de irrigação. CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador-BA. **Resumos**. Salvador-Ba, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Artmed, 848p, 2009.

TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E.; MARTÍNEZ, D.; HERRERA, A. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. **Photosynthetica**, v. 43, n. 1, p. 37-45, 2005.

TEZARA, W., MARTÍNEZ, D., RENGIFO, E., HERRERA, A. Photosynthetic responses of the tropical Spiny Shrub *Lycium nodosum* (Solanaceae) to drought, soil salinity and saline spray. **Annals of Botany**. 92, 757-765, 2003.

TEZARA, W., MITCHELL, V., DRISCOLL, S.P., LAWLOR, D.W. Effects of water deficit and its interaction with CO₂ supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. **Journal of Experimental Botany**. v. 53, p. 1781-1791, 2002.

WANG, MING-CHUN.; WANG, JIN-XIN.; SHI, QING-HUA.; ZHANG, JIN-SONG. Photosynthesis and water use efficiency of *Platycladus Orientalis* and *Robinia Pseudoacacia* saplings under steady soil water stress during different stages of their annual growth period. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.49, n.10: 1470–1477, 2007.

WU, F.; BAO, W.; LI, F.; WU, N. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, p. 248–255, 2008.

YANG, B.; PALLARDY, S. G.; MEYERS, T. P.; GU, L.; HANSON, P. J.; WULLSCHLEGER, S. D.; HEUER, M.; HOSMAN, K. P.; RIGGS, J. S.; SLUSS, D. W. Environmental controls on water use efficiency during severe drought in an Ozark Forest in Missouri, USA. **Global Change Biology**, p. 1365-2486, 2010.

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

ANEXO I. Valores médios (\pm EP) do *TRA*, Ψ_{PD} e *WUE* em duas cultivares de *Ricinus communis* submetidas a cinco teores de água no solo aos 18, 18 e 34 DAAT, respectivamente

| Teor de água no solo (%) | Variáveis | | | | | |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| | <i>TRA</i> (%) | | Ψ_{PD} (Mpa) | | <i>WUE</i> (g/L) | |
| | Paraguaçu | Energia | Paraguaçu | Energia | Paraguaçu | Energia |
| 20 | 90,84 \pm 1,79 aA | 92,40 \pm 0,42 aA | -0,33 \pm 0,01 aA | -0,34 \pm 0,01 aA | 1,61 \pm 0,08 aB | 2,08 \pm 0,13aA |
| 16 | 83,14 \pm 0,45 bB | 89,20 \pm 0,53 aA | -0,31 \pm 0,02 aA | -0,36 \pm 0,01 aA | 2,00 \pm 0,04 aB | 2,42 \pm 0,02aA |
| 12 | 79,40 \pm 0,62 bB | 84,49 \pm 0,70 bA | -0,60 \pm 0,02 bB | -0,49 \pm 0,01 aA | 2,13 \pm 0,14 aA | 2,42 \pm 0,06aA |
| 9 | 83,12 \pm 1,40 bA | 80,89 \pm 1,28 bA | -0,58 \pm 0,03 bB | 0,70 \pm 0,04 bA | 1,85 \pm 0,21 aB | 2,59 \pm 0,04aA |
| 7 | 64,20 \pm 2,39 cB | 75,49 \pm 1,56 cA | -1,43 \pm 0,09 cB | -0,89 \pm 0,08 cA | -0,43 \pm 0,22 bB | 1,14 \pm 0,36bA |

Letras minúsculas na coluna representam comparação entre tratamentos de teor de água, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e maiúsculas na linha representam comparação entre cultivares.

ANEXO II. Valores médios (\pm EP) de *A/gs*, *A/E* e *Ci/Ca* em duas cultivares de *Ricinus communis* submetidas a cinco teores de água no solo aos 11 DAAT, respectivamente

| Teor de água no solo (%) | Variáveis | | | | | |
|--------------------------|---|----------------------|---|-------------------|-------------------|--------------------|
| | <i>A/gs</i> ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) | | <i>A/E</i> ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) | | <i>Ci/Ca</i> | |
| | Paraguaçu | Energia | Paraguaçu | Energia | Paraguaçu | Energia |
| 20 | 56,63 \pm 4,50aA | 61,80 \pm 2,37bA | 6,74 \pm 0,43aA | 6,91 \pm 0,68aA | 0,67 \pm 0,02bA | 0,65 \pm 0,01abA |
| 16 | 58,01 \pm 2,78aA | 65,49 \pm 3,96bA | 7,22 \pm 0,36aA | 8,15 \pm 0,54aA | 0,66 \pm 0,01bA | 0,63 \pm 0,01abA |
| 12 | 60,91 \pm 3,01aA | 67,61 \pm 2,62bA | 7,46 \pm 0,38aA | 7,72 \pm 0,56aA | 0,65 \pm 0,01bA | 0,61 \pm 0,01abA |
| 9 | 61,67 \pm 4,26aA | 59,30 \pm 3,11bA | 6,87 \pm 0,48aA | 6,58 \pm 0,32aA | 0,64 \pm 0,02bA | 0,65 \pm 0,01aA |
| 7 | -0,02 \pm 0,67bB | 116,80 \pm 18,10aA | -0,16 \pm 1,09 bB | 6,70 \pm 1,18aA | 0,97 \pm 0,07aA | 0,49 \pm 0,08bB |

Letras minúsculas na coluna representam comparação entre tratamentos de teor de água, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e maiúsculas na linha representam comparação entre cultivares.