

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Área de Concentração: Solos



Dissertação

**Resposta da mamoneira (*Ricinus communis* L., cv. Al
Guarany 2002) a diferentes tensões de água no solo**

Marília Alves Brito Pinto

Pelotas, 2011

MARÍLIA ALVES BRITO PINTO

**RESPOSTA DA MAMONEIRA (*RICINUS COMMUNIS* L., CV.
AL GUARANY 2002) A DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA
NO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Solos).

Orientador: Professor Dr. Luís Carlos Timm

Co-orientador (es): Pesq. Dr. Carlos Reisser Júnior

Prof. Dr. Eloy Antonio Pauletto

Pesq. Dr. Sérgio Delmar dos Anjos e Silva

Pelotas, 2011

Banca examinadora:

Prof. Dr. Luís Carlos Timm (Orientador)
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” - UFPel

Prof. Dr^a. Luciana Gomes Castro
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

Prof. Dr^a. Cláudia Liane Rodrigues Lima
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

Prof. Dr. Vítor Emanuel Quevedo Tavares
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

Descobri como é bom chegar quando se tem paciência. E para se chegar, onde quer que seja, aprendi que não é preciso dominar a força, mas a razão. É preciso antes de mais nada, querer.”

Amyr Klink

Aos meus pais Jesuíno (*in memoriam*) e Zeli

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que iluminou meus passos nessa caminhada.

Ao meu orientador Luís Carlos Timm pelos ensinamentos, ajuda, paciência, oportunidades e sobretudo amizade.

Ao Co-Orientador Carlos Reisser Júnior pela orientação na realização do trabalho, pelos conselhos e amizade.

Ao Co-Orientador Sérgio Delmar dos Anjos e Silva pelo suporte para realização deste projeto.

Ao Co-Orientador Eloy Antonio Pauletto pelos ensinamentos e amizade.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Agronomia.

A Embrapa Clima Temperado pelo suporte técnico e estrutural para realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado.

A minha família base para eu buscar e alcançar meus objetivos.

A tia Cecília e Pedro que me acolheram e me deram um lar nestes dois anos.

Aos amigos que mesmo longe se fizeram presentes me dando força e incentivo na caminhada.

As amigas que ganhei Lizete, Patrícia e Glaúcia por estarem sempre presentes nos melhores e piores momentos dessa jornada.

Aos amigos, Otávio, Marcos, Vairton, Manoel e André pelo companheirismo.

A Leandro Aquino pela recepção e amizade.

Ao amigo Gabriel Brixner, pela ajuda fundamental a realização deste trabalho, e aos demais funcionários, colegas e pesquisadores do Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado pelo apoio.

Aos funcionários, em especial Paulo e D. Ana, professores, colegas e amigos do Departamento de Solos/UFPel, que me acolheram tão bem. Aprendi muito com todos vocês nestes dois anos.

Resumo

PINTO, Marília Alves Brito Pinto. **Resposta da mamoneira (*Ricinus communis* L., cv. Al Guarany 2002) a diferentes tensões de água no solo.** 2011. 63p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

Com o incentivo à produção de biodiesel no Brasil, a cultura da mamona ganhou importância no cenário agrícola, visto que suas sementes tem alto teor de óleo de boa qualidade. Aliada a estas características está a resistência à seca, que envolve um aspecto controverso, pois o que se tem observado são baixas produtividades em condições de déficit hídrico. Em virtude disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta da cultura da mamona a diferentes tensões de água no solo, determinando o efeito das condições de déficit hídrico no crescimento e desenvolvimento da planta. Para tal, foi desenvolvido um experimento em ambiente protegido, com plantas de mamona da cultivar Al Guarany 2002. As plantas foram cultivadas em vasos nos quais foram instalados tensiômetros a 0,15 m de profundidade para monitoramento da tensão de água no solo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três tratamentos e quatro repetições: 1 – tensão mantida em 0,01 MPa; 2 – quando a tensão chegava a 0,03 MPa as plantas eram irrigadas para retorna-la a 0,01 MPa; 3 – quando a tensão chegava a 0,06 MPa as plantas eram irrigadas para retorna-la a 0,01 MPa. No intervalo entre 30 e 105 dias após a emergência (DAE) foram avaliadas quinzenalmente a transpiração, a área foliar, a altura da planta e o diâmetro caulinar. Determinou-se ainda o tempo para início da floração e altura de inserção do primeiro racemo. Aos 105 DAE foram realizadas as avaliações dos parâmetros fisiológicos, potencial de água na folha, firmeza da folha e resistência estomática. Os resultados indicam que a mamona é sensível ao aumento da tensão de água no solo, sendo que em condições de maior tensão ela diminui a transpiração e o seu crescimento. O tempo para floração e a altura de inserção do primeiro racemo foram maiores nas plantas submetidas a menores tensões de água. O potencial de água na folha e a sua firmeza diminuíram com o aumento da tensão de água. O aumento da tensão de água no substrato aumentou a resistência estomática nas folhas da mamoneira, principalmente com o aumento da demanda evaporativa da atmosfera.

Palavras-chave: transpiração, estresse hídrico, crescimento e desenvolvimento.

Abstract

PINTO, Marília Alves Brito Pinto. Response of the castor bean (*Ricinus communis* L., cv. Al Guarany 2002) to different soil water tensions. 2011. 63p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

With the incentive of biodiesel production in Brazil, the castor bean crop has gained importance in the agricultural scenario, mainly because its seeds have high oil content of good quality. Being considered drought resistant plant in most reports of the literature, this is a controversial aspect because under water deficit conditions low yield has been recorded. Therefore this study had the objective to evaluate the growth and development of the castor bean submitted to different soil water tensions. A greenhouse experiment was carried out with plants of the cultivar Al Guarany 2002. Plants were cultivated in pots with one tensiometer installed at the 0.15 m depth to monitor the water soil tension. The experimental design was completely randomized with three treatments and four replications: 1- water tension maintained at 0.01 MPa; 2 – when the soil water tension reached 0.03 MPa, water was added to until returning 0.01 MPa; 3 – when the soil water tension reached 0.06 MPa, water was added to until returning to 0.01 MPa. Between 30 and 105 days after plant emergence (DAE) plant transpiration, leaf area, plant height and stem diameter were biweekly evaluated. The time lapse to onset of flowering and height of insertion of the first raceme were evaluated. Physiological parameters such as leaf water potential, leaf firmness and stomatal resistance were measured at 105 DAE. Results show that increasing soil water tension decreased the transpiration and growth rates of the castor bean plant. The time to flowering and height of insertion of the first raceme were greater for plants submitted to lower soil water tension. The leaf water potential and leaf firmness decreased as the soil water tension decreased. As soil water tension increased the stomatal resistance increased mainly with the rise of the atmosphere evaporative demand.

Keywords: transpiration, water stress, growth e development.

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Contexto socioeconômico	13
2.2 A cultura da mamona	14
2.3 Relação Solo-Água-Planta-Atmosfera	17
2.3.1 Radiação Solar	19
2.3.2 Balanço Hídrico	20
2.5 Indicadores de estresse hídrico	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Localização e Clima	23
3.2 Cultivo.....	24
3.3 Substrato	24
3.4 Monitoramento e controle da umidade do substrato.....	24
3.5 Transpiração.....	26
3.7 Curva de retenção de água no substrato.....	26
3.8 Avaliações das plantas.....	27
3.9 Indicadores de estresse hídrico	28
3.9.1 Potencial da água na folha.....	28
3.9.2 Firmeza da folha.....	29
3.9.3 Resistência estomática.....	29
3.10 Análises estatísticas	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Transpiração.....	31
4.2 Crescimento.....	35
4.2.1 Área Foliar (AF)	35
4.2.2 Altura da planta (AP)	38
4.2.3 Diâmetro Caulinar (DC).....	40
4.3. Desenvolvimento	43
4.3.1. Floração e Inserção do racemo primário	43
4.4 Indicadores de estresse hídrico	44
4.4.1 Potencial hídrico na folha (ψ_{wF}).....	44

4.4.2 Firmeza da folha.....	46
4.4.3 Resistência estomática.....	49
5 CONCLUSÕES.....	51
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	53
ANEXOS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética mundial associada à necessidade de redução na emissão de poluentes tornou necessária a busca por fontes de energia renováveis e não poluentes. Neste contexto os combustíveis renováveis ganharam expressão, sobretudo o biodiesel – bicomcombustível derivado de biomassa renovável. O biodiesel pode ser obtido de diversas oleaginosas dentre as quais a mamona (*Ricinus communis* L.) ganha notoriedade no cenário brasileiro por ser uma cultura já adaptada, com boas características agrônômicas e alto rendimento de óleo, sendo que este tem larga aplicação na indústria ricinoquímica e tem qualidade superior a outros óleos.

O plantio dessa cultura foi amplamente difundido no país com apoio de programas do Governo Federal e da Petrobras. No Estado do Rio Grande do Sul, a instalação de indústrias de óleo e biodiesel, que garantem assistência técnica e compra do produto aos agricultores, incentivou o plantio da mamona e aumentou a necessidade de estudos sobre a cultura para uma produção economicamente viável.

Dentre os aspectos que incentivaram o plantio da mamona destacam-se o social, por ser uma cultura adaptada à agricultura familiar e a resistência à seca. A resistência à seca, no entanto é um aspecto controverso, pois observa-se baixas produtividades em condições de déficit hídrico. Por ser uma planta resistente, a mamoneira sobrevive, mas o efeito do déficit hídrico em sua fenologia e produção precisam ser conhecidos. Devido à expansão das indústrias de biodiesel é necessário que a cultura aumente sua produtividade tornando-se lucrativa, atraente economicamente e capaz de suprir a demanda.

Muitos fatores influenciam o desenvolvimento das plantas, mas o déficit hídrico assume grande importância por afetar tanto as relações hídricas das plantas, visto que a água é um elemento essencial a processos de expansão celular, hidrólise, fotossíntese e tantos outros fundamentais ao seu desenvolvimento, crescimento e produção, quanto pelo fato deste fenômeno atingir grandes áreas

cultiváveis.

O conhecimento da demanda hídrica da cultura permite adequar o plantio a regiões em que o índice pluviométrico seja adequado ou, utilizar a irrigação para que seja suprida a demanda hídrica quando economicamente viável.

Este trabalho baseia-se na hipótese de que a deficiência no suprimento de água requerida pela cultura da mamona interfere no seu crescimento e desenvolvimento.

Assim tem-se por objetivo principal avaliar em diferentes níveis de umidade, a resposta da cultura da mamona cultivar Al Guarany 2002, quanto a fenologia e seu crescimento e indicar tensões de água no solo que proporcionam adequado desenvolvimento desta cultura. Neste contexto os objetivos específicos foram:

- a) Verificar a resposta fenológica da mamona à diferentes níveis de umidade do solo;
- b) Avaliar o crescimento vegetativo da variedade quando submetida a condições de déficit hídrico;
- c) Conhecer os fatores ambientais mais relacionados a evapotranspiração da mamoneira;
- d) Observar os períodos diários de estresse e as respostas fisiológicas da planta para controle da desidratação;

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Contexto socioeconômico

A necessidade de exploração de formas alternativas de energia não poluentes, em substituição às formas fósseis, fornece oportunidade para o Brasil desenvolver tecnologias que visem explorar economicamente a biomassa, abundante por razões de territorialidade e clima, para produção de combustíveis renováveis (CARVALHO, 2005).

O Brasil oferece, como poucos no mundo, vantajosas condições para a exploração da biomassa com fins energéticos. No caso do Biodiesel, existem oleaginosas de alta qualidade que são matérias-primas para a sua obtenção, entre elas a mamona, o dendê, a soja, o babaçu, o girassol e outras espécies que fazem parte da agricultura nacional (MENESES, 2007).

O biodiesel apresenta vantagens, dentre elas, o alto rendimento como combustível, similar e até superior ao diesel; não necessita de nenhuma alteração tecnológica significativa nos motores a diesel; liberam menos poluentes para o ambiente do que o petróleo e seus derivados, contribuindo para a redução da emissão de gases produtores do efeito estufa e outros poluentes; é renovável e é produzido a partir de insumos amplamente disponíveis no Brasil, como o álcool (CARVALHO, 2005).

A partir do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, lançado pelo Governo Federal em 2004, os biocombustíveis assumiram posição estratégica no país, ampliando o mercado de óleos vegetais e estimulando a produção de oleaginosas. A mamona obteve papel de destaque, pelo alto conteúdo de óleo, pela adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e por adequar-se ao sistema de produção agrícola familiar (SILVA et al., 2007).

A mamoneira é largamente difundida em vários países sendo cultivada para a extração do óleo das suas sementes, que é empregado principalmente na

lubrificação de motores de alta rotação, motores de avião e na fabricação de tinta, verniz e plástico (SAVY FILHO, 2005).

O Brasil é o terceiro produtor mundial de mamona, atrás da China e da Índia, e devido ao atual programa de governo sobre bicombustíveis poderá, nos próximos anos, retomar a primeira posição, ocupada na década de 1980. No ano de 2010, a produção de mamona (baga) no Brasil foi de 93.054 t e a estimativa do IBGE para 2011 é um aumento de 63,8% da produção (IBGE, 2011).

A área de plantio da mamona no Estado do Rio Grande do Sul tem crescido nos últimos anos, impulsionado pelo programa nacional de biodiesel, que estimulou a instalação de várias indústrias de óleo e biodiesel no Estado, as quais, dentre outras vantagens, garantem o preço de compra do grão e oferecem assistência técnica aos produtores. Este cenário gerou uma grande demanda por informações técnicas a respeito desta cultura (SILVA et al., 2007).

2.2 A cultura da mamona

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) pertence à família Euphorbiaceae que engloba um vasto número de plantas nativas da região tropical e tem a Etiópia como provável centro de origem (BELTRÃO et al., 2001).

Corresponde a um arbusto, que geralmente mede cerca de 2 metros de altura, com caule cilíndrico, grosso, de aspecto nodoso e lenho mole, de coloração externa verde avermelhado a castanho acinzentado. As folhas são alternas medindo geralmente de 15 a 30 centímetros de diâmetro, palmatiformes, verdes ou, mais raramente no Brasil, vermelho-escuras com nervuras de tom um pouco mais claro. As flores são monóicas e dispostas em grupos sobre racemos opostos às folhas. As flores femininas ocupam a parte superior dos racemos e as masculinas a parte inferior. Os frutos apresentam aspecto globoso, a parte externa possui elevações espiniformes medindo 3 centímetros de diâmetro, providos de três lojas, cada uma delas contendo uma semente (RODRIGUES et al., 2002).

É um fitossistema de elevado nível de organização morfológico, com forte e penetrante sistema radicular, atingindo profundidades superiores a três metros, (POPOVA; MOSHKIN, 1986) é considerada uma planta de elevada resistência à seca (AMORIM NETO et al., 2001), porém é sensível ao excesso de umidade por períodos prolongados em especial na fase inicial e na de frutificação (SILVA, 1981).

A mamoneira é uma planta de crescimento dicotômico, polimórfica e de metabolismo fotossintético C3, ineficiente, com elevada taxa de fotorrespiração. Trata-se de uma espécie heliófila e que apresenta 12 estádios de desenvolvimento. O primeiro estádio é a germinação na qual se constata a reativação dos pontos de crescimento do embrião. Na mamoneira as substâncias de reserva para nutrir o embrião nas fases iniciais, encontram-se no endosperma. O segundo é o da formação das folhas opostas verdadeiras que demora de 7 a 17 dias. O terceiro estádio envolve a segmentação do eixo do racemo, que ocorre rapidamente e finaliza com a formação da quinta ou sexta folha verdadeira, com a iniciação axilar lateral. O quarto estádio corresponde à diferenciação do meristema primário e a formação do rendimento do racemo, tendo de 7 a 18 dias. O quinto estádio é a diferenciação da parte floral e demora de 10 a 17 dias. No sexto estádio ocorre a formação do pólen e do saco embrionário. O sétimo refere-se a diferenciação e ao crescimento do racemo; o oitavo, a fase de botoamento; o nono a floração e polinização; o décimo, à formação dos frutos e sementes; o décimo primeiro, à deposição da cera e o décimo segundo à maturação. (MAZZANI, 1983; WEISS, 2000; MOSHKIN, 1986 e BELTRÃO et al., 2001).

O intervalo de temperatura para o desenvolvimento adequado da espécie é de 20°C a 30°C. A temperatura ideal é em torno de 23°C. Temperaturas maiores na fase de floração, acima de 40°C, podem provocar a senescência das flores, prejudicando a produção de frutos. Pode, também, ocorrer a reversão sexual das flores, aumentando a quantidade das masculinas e diminuindo as femininas, reduzindo a quantidade de óleo produzida por área. Quando a temperatura do ar fica abaixo de 10°C, pode ocorrer a inviabilização do grão-de-pólen e não se formam as sementes (SILVA et al., 2007).

O óleo de mamona, extraído pela prensagem das sementes, contém 90% de ácido graxo ricinoléico, o que lhe confere características singulares e versáteis e uma ampla gama de utilização industrial só comparável à do petróleo com a vantagem de ser um produto renovável e barato (AZEVEDO et al., 1997).

Além do alto potencial para a produção de óleo, o qual tem diversas aplicações na indústria química, farmacêutica, e como matéria prima para a produção do biodiesel (SAVY FILHO, 2005), os subprodutos da mamona também podem ser utilizados, a torta, proveniente do esmagamento das sementes, pode ser utilizada como adubo orgânico, tem ação nematicida e fungicida, tendo todos os

macro e micronutrientes, alto teor de matéria orgânica e nitrogênio (SILVA et al., 2007). As folhas da mamona podem servir de alimento para o bicho da seda; a haste, além da celulose para a fabricação do papel, pode fornecer matéria-prima para tecidos grosseiros, por fim, os seus restos culturais podem devolver ao solo 20 t ha⁻¹ de biomassa (EMBRAPA, 1997).

O primeiro programa de melhoramento de mamona no Brasil foi iniciado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em 1936. Com a expansão da cultura outras instituições como a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) e a Embrapa Algodão também desenvolveram programas de melhoramento para a mamona (AZEVEDO et al., 1997).

Segundo Silva et al. (2007) e Embrapa (2010), as principais cultivares de mamona são:

AL Guarany 2002

Apresenta ciclo de 180 dias (até a colheita dos cachos terciários), porte médio, fruto indeiscente, cloração das hastes roxa-avermelhada com cerosidade e ramificações com angulação bem fechada. Foi lançada em 2002 pela CATI.

IAC Guarani

Apresenta ciclo de 180 dias, porte médio, fruto indeiscente, hastes rosadas com cera e ramificação fechada. Foi lançada em 1974 pelo IAC.

IAC 80

Apresenta ciclo de 240 dias, porte alto e frutos semideiscentes, hastes verdes sem cera e ramificadas. Foi lançada em 1982 pelo IAC.

IAC 226

Apresenta ciclo de 180 dias (até a colheita dos cachos quaternários), porte médio, fruto indeiscente, hastes rosadas com cera e ramificadas. Foi lançada em 1991 pelo IAC.

BRS 149 Nordestina

Lançada em 1998 pela Embrapa Algodão, apresenta porte médio e frutos semideiscentes.

BRS 188 Paraguaçu

Lançada em 1999, pela Embrapa Algodão, apresenta porte baixo, frutos semideiscentes, haste roxa com cera e sementes de coloração preta.

BRS Energia

Desenvolvida em rede pela Embrapa, EBDA e Emparn e lançada em 2007. Tem porte baixo, ciclo entre 120 e 150 dias, frutos verdes com cera e indeiscentes.

Mirante 10

É um variedade de mamona, lançada por Sementes Armani. Apresenta frutos indeiscentes, porte médio e ciclo médio, haste vermelha, sem cera.

Até agora, não existem cultivares de mamona desenvolvidas por um programa específico para o Rio Grande do Sul. O Programa de Melhoramento de Mamona da Embrapa Clima Temperado é recente. As cultivares que estão sendo utilizadas por agricultores e órgãos de pesquisa são introduzidas dos programas de melhoramento da CATI/SP, Embrapa Algodão, IAC/SP e Sementes Armani S/A (SILVA, et al., 2007).

2.3 Relação Solo-Água-Planta-Atmosfera

A água é um dos principais constituintes das células das plantas variando de cerca de 10% da massa das sementes, a mais de 95% em alguns frutos e folhas novas e 99% no vacúolo celular. Está envolvida como reagente em processos como fotossíntese e hidrólise, nos processos térmicos atua como regulador de temperatura e sua incompressibilidade é importante na sustentação das plantas (JONES, 1992).

As plantas absorvem e perdem água continuamente. Para cada grama de matéria orgânica produzida pela planta, aproximadamente 500g de água são absorvidos pelas raízes, transportados na planta e perdidos para atmosfera. Um pequeno desequilíbrio nesse fluxo de água pode causar déficits hídricos e mau funcionamento de inúmeros processos celulares. (TAIZ; ZEIGER, 2004).

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. À medida que o solo seca, torna-se mais difícil as plantas absorverem água, porque aumenta a energia de retenção pela matriz do solo diminuindo, conseqüentemente, sua disponibilidade 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).

A disponibilidade de água para as plantas depende da razão com que a água pode ser suprida às raízes em relação à demanda da planta por água, pois tanto o suprimento, quanto a demanda são variáveis. A demanda das plantas depende da transpiração, a qual varia muito de acordo com as condições climáticas e com a densidade das raízes e sua eficiência como superfície de absorção, o que depende da condutividade hidráulica das raízes e do solo (KRAMER; BOYER, 1995).

A condutividade hidráulica do solo define a facilidade com que a água se move no solo e é dependente da umidade, sendo maior no solo saturado, já que todos os poros estão preenchidos com água e atuam como condutores, quando saturado quanto maiores os poros do solo maior a condutividade. Assim a condutividade hidráulica do solo é uma propriedade que depende da estrutura, textura e composição mineralógica das argilas (JARRAMILLO, 2002).

Segundo Brady e Weil (1999), primeiramente as raízes removem a água dos macroporos, onde seu potencial é relativamente alto e a medida que esses poros são esvaziados, as raízes absorverão água de poros progressivamente menores nos quais o potencial mátrico é mais baixo e as forças de atração da água às superfícies sólidas são maiores. Assim, à medida que o solo seca, se tornará progressivamente mais difícil para as plantas remover água do solo a uma taxa suficiente para suprir suas necessidades.

O movimento da água do solo para a atmosfera através da planta depende das características físicas do solo. Em um extremo, encontram-se os solos arenosos, que apresentam grandes espaços porosos ou canais entre as partículas; em outro extremo, solos argilosos com partículas e poros menores que dificultam a drenagem e retêm a água com mais energia. Essas características interferem na capacidade de retenção de água no solo sendo ela maior em solos de textura argilosa e menor em solos de textura arenosa (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A máxima capacidade de retenção de água no solo é denominada capacidade de campo (CC), correspondendo a umidade do solo na qual a drenagem

interna praticamente cessa, nessas condições a água está retida pelo solo a potenciais matriciais entre -0,010 e -0,033 MPa. A medida que o potencial de água no solo diminui, a taxa de absorção de água pelas plantas não será adequada para a manutenção de suas necessidades e elas poderão murchar durante o dia. Posteriormente, a planta permanecerá murcha durante à noite e o dia, embora ainda não estejam mortas, as plantas estarão permanentemente murchas. O conteúdo de água no solo neste estágio é chamado de ponto de murcha permanente (PMP) e, na literatura assume-se que seja a quantidade de água retida pelo solo a um potencial matricial de -1,5 MPa (BRADY; WEIL, 1999).

No entanto, para alguns pesquisadores existe um “ponto crítico” entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente e nesta umidade a planta já pode sofrer deficiência de água e redução de crescimento. Esta umidade critica vai depender tanto de atributos do solo quanto de características das plantas (REICHARDT; TIMM, 2004).

2.3.1 Radiação Solar

A radiação solar atua diretamente sobre o desenvolvimento e o crescimento das plantas, e indiretamente pelos efeitos no regime térmico de qualquer sistema terrestre, assim como sobre a evaporação de água pelas superfícies naturais. A transferência da água da superfície terrestre para a atmosfera, passando do estado líquido ao estado gasoso, processa-se através da evaporação direta, por transpiração das plantas e dos animais e por sublimação (PEREIRA et al., 2000).

No processo fotossintético a radiação é de fundamental importância, parte da radiação solar absorvida pelas plantas vai ser utilizada na síntese de ligações químicas altamente energéticas e compostos de carbono reduzido, assim a radiação é responsável pelo processo da fotossíntese e, conseqüentemente, pela produção das plantas cultivadas (JONES, 1992).

Existe uma intensa relação entre a radiação solar e o transpiração de água pela planta, a maior parte da água perdida pela planta evapora à medida que o CO₂ necessário à fotossíntese é absorvido da atmosfera. Em um dia ensolarado, quente e seco, uma folha renovará até 100% de sua água em apenas uma hora (TAIZ; ZEIGER, 2004).

2.3.2 Balanço Hídrico

O balanço hídrico é a contabilização da água do solo, resultante da aplicação do Princípio de Conservação de Massa num volume de solo vegetado. A variação de armazenamento de água no solo (ΔARM) por unidade de tempo representa o balanço entre o que entrou e o que saiu de água do volume de controle (PEREIRA et al., 2000)

Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário, portanto, computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e via ascensão capilar e as saídas, representadas pela drenagem interna, evapotranspiração e deflúvio superficial num volume de solo, com base na configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo. Quando a quantidade de água que entra no tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo e, caso contrário, será negativo. Tanto o saldo positivo como o negativo, serão medidos pela variação de armazenagem de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 2005).

O déficit hídrico é uma resposta a relação entre as entradas de água no solo e saídas sobretudo pela evapotranspiração. Ele ocorre quando a taxa de transpiração das folhas excede a absorção de água pelas raízes, normalmente nas horas mais quentes do dia. Esta situação desencadeia-se a partir do momento em que o potencial hídrico do solo na rizosfera declina a níveis sub-ótimos e/ou o déficit de pressão de saturação de vapor d'água entre a folha e a camada de ar limítrofe torna-se alto (BERKOWITZ, 1998).

O crescimento celular é o processo mais sensível à baixa disponibilidade de água no solo (KRAMER; BOYER, 1995), a divisão e expansão celular são diretamente inibidas pelo estresse hídrico (ZHU, 2002).

De acordo com Jones (1992), o déficit hídrico afeta ainda a fotossíntese e a absorção de íons o que reflete na redução da taxa de crescimento, sendo esta redução uma característica adaptativa para sobrevivência da planta. Para Liu e Dickmann (1993) a manutenção da integridade do aparelho fotossintético durante o estresse é significativa como característica de resistência, uma vez que permite recuperação da fotossíntese após o estresse. O potencial de água no qual a fotossíntese torna-se nula depende das características adaptativas da espécie, do

tempo de exposição, da severidade do déficit hídrico, do estágio de desenvolvimento da planta e da possibilidade de aclimatação ao estresse.

A área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pelas plantas, seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta a déficit hídrico (FERNÁNDEZ et al., 1996). Segundo Santos e Carlesso (1998), durante o desenvolvimento das plantas, a atividade fotossintética por área foliar aumenta com a idade da folha até a sua expansão máxima, decrescendo até a sua senescência. Em situações de déficit hídrico, pode ocorrer uma pequena redução no tamanho das folhas individuais ou uma menor produção de folhas, porém, plantas com déficit hídrico podem alterar a interceptação da radiação solar, através de modificações na forma e exposição da área foliar.

Num estudo com plantas de mamona submetidas a estresse hídrico Heckenberger et al. (1998) observaram que a divisão e expansão celular foram afetadas causando a maturação das folhas em tamanhos menores. Barros Junior (2007), verificou que em resposta a deficiência hídrica, houve reduções na altura da planta e no diâmetro do caule de mamona. Quando as plantas foram submetidas aos tratamentos de 40 e 60% de água disponível, praticamente paralisaram o seu desenvolvimento aos 60 dias após a semeadura. Koutroubas et al. (2000), avaliando variedades de mamona no Mediterrâneo, observaram que a produção de semente e óleo foram muito superiores nas plantas irrigadas quando comparadas as de sequeiro, e que a irrigação aumentou também a altura da planta, a inserção do primeiro racemo e a produção dos racemos secundários.

2.5 Indicadores de estresse hídrico

Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, freqüentemente, respostas fisiológicas que resultam de modo indireto na conservação da água no solo. Os efeitos das condições hídricas sobre as plantas podem ser esclarecidos com o estudo de parâmetros fisiológicos como potencial de água na folha, resistência estomática, pressão de turgor entre outros. Estes parâmetros influenciam diretamente a eficiência fotossintética, e esta por sua vez o potencial de crescimento dos vegetais (SANTOS; CARLESSO, 1998).

O potencial de água da folha descreve o o estado hídrico da planta. A manutenção do potencial hídrico durante períodos de déficit hídrico ocorre a partir de

respostas imediatas (fechamento estomático) ou respostas que levam semanas (alterações no crescimento da folhagem, senescência etc) ou até meses (redução da biomassa total ou produtividade vegetal) para se manifestarem (FLOSS, 2004).

Os estômatos constituem as principais vias de trocas gasosas entre as folhas e o meio externo, a luz e a água são os dois fatores do ambiente que têm, provavelmente, grande efeito no comportamento dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Existe uma estreita relação entre o potencial de água na folha, o comportamento estomático e o potencial de água no solo. Quando o potencial da água no solo é baixo, os estômatos se fecham antecipadamente pela manhã, uma vez que nessa condição a abertura dos estômatos não é função da energia incidente, e sim, do potencial da água na folha. Entre os efeitos do aumento na resistência difusiva estomática está a redução na fotossíntese líquida (JONES, 1992).

A perda de água diminui o potencial de água na folha e reduz a pressão de turgor celular, portanto, acredita-se que as atividades dependentes do turgor celular como a expansão foliar e o enraizamento também sejam limitadas pelo déficit hídrico (RAVEN et al., 1996).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e Clima

O experimento foi conduzido na Embrapa Clima Temperado, em Pelotas, Rio Grande do Sul (32°45'S e 52°30'W), altitude média de 60m, no período de fevereiro a maio de 2010. O cultivo foi feito em casa de vegetação (Fig. 1) cuja orientação é na direção norte-sul, sendo a cobertura feita com plástico transparente e as laterais fechadas com tela plástica.



Figura 1 – Vista frontal da casa de vegetação em que foi conduzido o experimento.

O clima segundo a classificação Köppen "Cfa", ou seja, temperado úmido com verões quentes. A temperatura e precipitação média anual é de 17,9°C e 1500mm, respectivamente (EMBRAPA, 2011). Os dados meteorológicos (Anexo 1) foram coletados, durante o experimento, na estação meteorológica da Embrapa Clima Temperado.

Para utilização dos valores de radiação solar, os mesmos foram diminuídos em 30 %, devido às perdas ocasionadas pelo material de cobertura da casa de vegetação. O valor de 30% foi adotado conforme os dados encontrados na literatura (FARIAS et al., 1993; CAMACHO et al., 1995; BECKMANN et al., 2006).

3.2 Cultivo

As plantas da variedade Al Guarany 2002, foram cultivadas em vasos de polietileno flexível, com capacidade de 30 dm³. A semeadura foi realizada em 8 de fevereiro de 2010, com três sementes por vaso. A adubação foi feita com base na análise química do substrato (Anexo 2) e de acordo com as indicações técnicas para o cultivo da mamona no Rio Grande do Sul (SILVA et al., 2007). O desbaste foi feito 10 dias após a emergência (DAE), deixando-se uma planta por vaso, sendo escolhida a que apresentava o melhor desenvolvimento.

3.3 Substrato

O substrato constituiu-se da mistura de 40% de solo, 40% de areia e 20% de esterco bovino. A granulometria do substrato foi determinada segundo o método da pipeta descrito por Gee e Or (2002), sendo a composição granulométrica média do substrato de 81,72 % de areia; 10,33 % de argila e 7,95 % de silte. No fundo dos vasos foi colocada uma camada de 2cm de brita, para garantir a drenagem, e sobre esta camada colocou-se um disco de tecido TNT, com objetivo de evitar a perda da fração mais fina do substrato, adicionado posteriormente.

3.4 Monitoramento e controle da umidade do substrato

Para obtenção da tensão de água no substrato foi instalado, em cada vaso a 0,15 m de profundidade, um tensiômetro cujas leituras eram dadas por vacuômetros (Fig. 2A). As leituras foram feitas diariamente no início da manhã. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três tratamentos e quatro repetições. Tratamento 1 (T1) – quando a tensão de água no substrato fosse superior a 0,01MPa, as plantas eram irrigadas para que a tensão de água no substrato retornasse a 0,01MPa;

Tratamento 2 (T2) – quando a tensão de água no substrato fosse 0,03 MPa, as plantas eram irrigadas para que a tensão de água no substrato retornasse a 0,01MPa;

Tratamento 3 (T3) - quando a tensão de água no substrato fosse 0,06 MPa, as plantas eram irrigadas para que a tensão de água no substrato retornasse a 0,01MPa.

A quantidade de água a ser adicionada para que a tensão de água no substrato atingisse 0,01 MPa foi calculada conforme proposto por Libardi (2005):

$$\Delta h = Z (\theta_f - \theta_i) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Δh = variação da armazenagem de água no solo (mm);

Z = profundidade do vaso (mm);

θ_f = umidade do solo na tensão de 0,01 MPa (m^3m^{-3});

θ_i = umidade do solo no momento da leitura (m^3m^{-3}).

Durante o período de 19/03/2010 a 21/03/2010, os tratamentos 1 e 2 foram também monitorados pelo Irrigas modelo MRI – 40D, para o T3 não foi possível este monitoramento, porque os sensores disponíveis só mediam até a tensão de 40 kPa. O Irrigas é um sistema de manejo de irrigação, baseado na tensiometria a gás, patenteado pela Embrapa (CALBO;SILVA, 2005). Neste equipamento, cápsulas porosas estão conectadas a tubos flexíveis e estes a um mini compressor que injeta ar no sistema. No momento da medição, se o solo estiver “úmido”, a passagem de ar através da cápsula porosa é bloqueada e a medida que o solo seca a cápsula porosa torna-se permeável à passagem do ar.

Os sensores Irrigas (Fig. 2B) foram instalados em cada vaso, a uma profundidade de 0,15 m, sendo considerados os valores médios de tensão obtidos pelas repetições de cada tratamento.

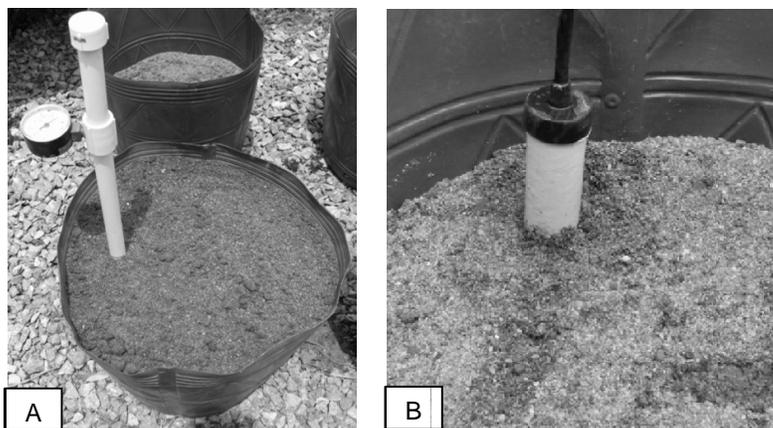


Figura 2 – Detalhe do tensiômetro (A) e do sensor Irrigas instalados nos vasos para monitoramento da tensão de água no substrato.

3.5 Transpiração

Os valores de transpiração foram calculados com base na equação de balanço hídrico, Libardi (2005):

$$P + I \pm \Delta ARM - DP - ET = 0 \quad \text{Equação (2)}$$

onde:

P = precipitação (mm);

I = irrigação (mm);

ΔARM = variação do armazenamento de água no solo (mm);

DP = drenagem profunda (mm);

ET = evapo(transpi)ração (mm).

A variável precipitação foi desconsiderada por tratar-se de um ambiente protegido, a irrigação corresponde a quantidade de água adicionada quantificada em provetas graduadas, para quantificação da drenagem foram colocadas bandejas sobre os vasos. Na variável ET, considerou-se apenas a parte de transpiração pois os vasos foram cobertos com papel alumínio evitando-se a evaporação. Os valores de variação de armazenagem de água no solo foram obtidos com base na curva de retenção, pela seguinte equação:

$$\Delta ARM = \left[\int_0^z (\theta_i \times dz) \right]_t - \left[\int_0^z (\theta_i \times dz) \right]_{t+1} \quad \text{Equação (3)}$$

onde:

ΔARM = variação do armazenamento de água no solo (mm) em um intervalo de tempo t (dias);

θ_i = umidade volumétrica média ($m^3 m^{-3}$) na camada de solo dz (mm);

3.7 Curva de retenção de água no substrato

Para elaboração da curva de retenção utilizaram-se seis anéis de 5cm de altura e 5cm de diâmetro cujo volume médio foi de 98 cm^3 . O substrato foi colocado nos anéis e estes saturados por 24h. As amostras saturadas foram submetidas às tensões de 0,001 e 0,006 MPa na mesa de tensão, e às tensões de 0,01; 0,03; 0,1;

0,3; 0,5 e 1,5 MPa na Câmara de pressão de Richards. Os dados obtidos foram ajustados pelo modelo de van Genuchten (1980) com auxílio do software SWRC (DOURADO NETO, et al., 2000).

3.8 Avaliações das plantas

As medidas de área foliar (AF), altura da planta (AP) e diâmetro caulinar (DC) foram realizadas, quinzenalmente, no período de 30 a 105 dias após a emergência (DAE). Para estimativa da área foliar foram medidas, com régua graduada as nervuras, principal e laterais de todas as folhas em cada planta (Fig. 3). Utilizou-se o modelo matemático proposto por Severino et al. (2005) que em função do comprimento da nervura principal e média do comprimento das nervuras laterais, estima a AF:

$$AF = 0,2439 \times (NP + NL)^{2,0598} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

AF = área foliar (m²);

NP = comprimento da nervura principal (m);

NL = média do comprimento das nervuras laterais (m).



Figura 3 – Medida das nervuras principal (A) e laterais (B) para cálculo da área foliar (AF).

A altura da planta foi medida da superfície do substrato até o ponto de inserção da folha mais nova, a altura de inserção do primeiro racemo foi medida da superfície do substrato até o ponto de inserção do racemo, ambas com o auxílio de uma régua graduada. O diâmetro do caule foi medido com paquímetro a 0,10m de altura da superfície do substrato.

As curvas de crescimento da área foliar, da altura da planta e do diâmetro caulinar foram ajustados com base no modelo sigmoidal logístico (CAUSTON; VENUS, 1981):

$$y = \frac{a}{1 + \beta e^{-\gamma T}}$$

Equação (5)

Onde:

y = é a variável dependente (variável independente)

a, β e γ = parametros de ajuste da equação

T = tempo em que o crescimento ocorre

O tempo para floração foi obtido pela diferença entre a data de início da floração e a data de emergência das plantas.

3.9 Indicadores de estresse hídrico

As avaliações do potencial de água na folha, da firmeza das folhas e da resistência estomática foram realizadas aos 105 DAE, às 7h e às 12h.

3.9.1 Potencial da água na folha

Para a determinação do potencial da água na folha foi utilizada uma câmara de pressão tipo "Scholander" da marca "ELE International" como descrito por Scholander et al. (1965). Foram utilizadas três folhas de cada planta, sendo realizadas duas leituras diárias. A primeira, denominada potencial de base, foi realizada antes da incidência da luz solar nas folhas, ou seja, antes do amanhecer. A segunda, denominada potencial ao meio-dia, foi realizada às 12h.

3.9.2 Firmeza da folha

Para esta avaliação utilizou-se o Wiltmeter, que é um instrumento desenvolvido pela Embrapa fundamentado na técnica de aplanção ou técnica da força externa de medição de firmeza para medir a pressão de aplanção ou firmeza de folhas, esta pressão de aplanção é uma estimativa aproximada da pressão de turgescência celular (CALBO et al., 2008). Em cada planta as medidas foram tomadas em três folhas, na primeira leitura as folhas foram escolhidas aleatoriamente, para segunda leitura utilizaram-se as folhas completamente expostas ao sol.

3.9.3 Resistência estomática

Para esta avaliação utilizou-se um porômetro de equilíbrio dinâmico "Steady State" modelo LI-1600 da marca LICOR. Foram realizadas duas determinações logo após as leituras de potencial da água na folha. As determinações foram realizadas nas mesmas condições e mesmo número de folhas utilizadas na avaliação de firmeza da folha.

3.10 Análises estatísticas

Os ajustes das curvas de crescimento para área foliar, altura de planta e diâmetro caulinar foram feitos pelo procedimento de regressões não lineares PROC NLIN (SAS Institute, 2002). As variáveis evapotranspiração, área foliar (AF), altura de planta (AP) e diâmetro caulinar (DC), cujas medidas foram realizadas quinzenalmente, e as variáveis potencial de água na folha, firmeza da folha e resistência estomática, que foram avaliadas em dois tempos (7h e 12h) constituem uma estrutura de dados longitudinais pois foram avaliadas no tempo numa mesma unidade experimental. Para estas variáveis as análises estatísticas foram executadas por meio do PROC MIXED (SAS Institute, 2002). Em uma estrutura de dados longitudinais tem-se apenas um fator de repetição (por exemplo, tempo) constituindo um caso particular de estrutura conhecida como Medidas Repetidas. O procedimento PROC MIXED (SAS Institute, 2002) se baseia neste modelo (CASTRO, 1997).

Os dados de número de dias para floração e altura de inserção do primeiro racemo foram analisados como estrutura univariada por meio do PROC GLM (SAS Institute, 2002). Para cada variável foi realizada a análise de variância pelo teste F e o teste de comparação de médias (Tukey) ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Transpiração

Na Figura 4 observa-se que a transpiração da mamoneira durante o dia expressa uma importante relação com a tensão de água no substrato. Conforme as equações de ajuste das curvas, na tensão de 0,01 MPa o máximo de evapotranspiração foi de 2,03 mm e ocorreu às 10:32h (Fig. 4A).

Na tensão de 0,03 MPa o máximo de evapotranspiração foi de 1,44 mm e ocorreu às 11:32h (Fig. 4B). Em condições de menor disponibilidade de água as plantas controlam a perda de água, e a máxima evapotranspiração ocorreu no horário com maior demanda devido a maior incidência de radiação, mas seu valor foi 30% inferior ao das plantas cultivadas com a tensão de água no substrato de 0,01 MPa.

Observa-se (Fig. 4) que em ambas as tensões de água no substrato a evapotranspiração começa a aumentar às 6h, apresenta o valor máximo entre 10 e 12h e diminui a valores próximos de zero por volta das 19h. A semelhança no comportamento da evapotranspiração em função da hora do dia em ambas tensões, foi evidenciada pelo parâmetro que corresponde a largura da curva, cujos valores foram de 2,47 e 2,41 para as tensões de 0,01 e 0,03 MPa, respectivamente.

Possivelmente este comportamento da evapotranspiração foi mais influenciado pela radiação do que pelo teor de água no substrato, posto que às 6h começa a incidência da radiação solar, entre 10 e 13h ocorre o máximo da radiação e a partir de então esta diminui até chegar a zero com o pôr do Sol. Como a incidência da radiação é a mesma, a variação da evapotranspiração em função da hora é semelhante para as duas tensões de água no substrato.

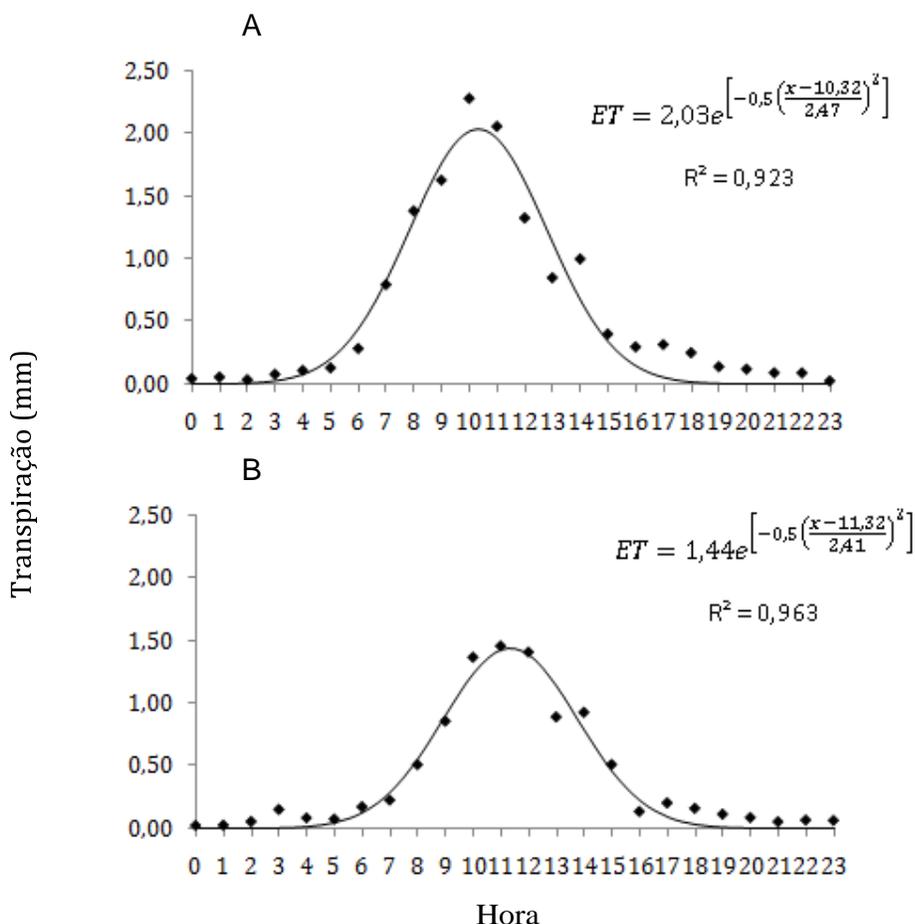


Figura 4 – Variação horária média da transpiração da mamoneira cv. Al Guarany 2002 para o período de 19 a 21/03/2010, em T1(A) e T2 (B) cujas tensões de água no substrato são de 0,01 e 0,03 MPa, respectivamente.

Na Figura 4 observa-se ainda que mesmo no período noturno as plantas de mamona apresentam transpiração, e essa é maior nas plantas do T1, onde há maior disponibilidade de água. No período noturno a evapotranspiração média das plantas do T1 foi de $0,08 \text{ mm h}^{-1}$, para as plantas do T2 esse valor é de $0,06 \text{ mm h}^{-1}$. Isto pode estar relacionado ao fato de que a mamona apresenta condutância estomática noturna, e que esta é afetada pelas condições hídricas. Barbour e Buckley (2007), avaliaram a condutância estomática de plantas de mamona em duas tensões (0,0022 e 0,0101 MPa), e observaram que a condutância estomática do vapor d'água esteve entre $0,05$ e $0,24 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em plantas com maior disponibilidade hídrica durante a noite. Nas plantas com menor disponibilidade de água a condutância estomática esteve entre $0,004$ and $0,015 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no período noturno.

Na tabela 1 observa-se que as plantas do T1 apresentaram os maiores valores de transpiração, sendo significativamente diferente de T2 e T3, estes por sua vez não diferiram significativamente entre si. Com base na curva de retenção de água no substrato a umidade volumétrica é de 0,25; 0,20 e 0,18 m^3m^{-3} para as tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06MPa (T3) respectivamente. Logo entre T2 e T3 a disponibilidade de água as plantas está bem próxima o que explica o fato da transpiração não diferir entre esses tratamentos.

Essa diminuição na evapotranspiração tem efeito direto no crescimento e desenvolvimento da planta, pois a evapotranspiração tem uma estreita relação com a fotossíntese, de acordo com Taiz e Zeiger (2004), a maioria da água perdida pela planta evapora à medida que o CO_2 necessário à fotossíntese, é absorvido da atmosfera.

Tabela 1 – Valores médios de transpiração da mamoneira cv. Al Guarany 2002 nas tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06 MPa (T3) dos 45 aos 105 dias após emergência (DAE).

DAE	Transpiração ($mm\ dia^{-1}$)		
	T1	T2	T3
30 - 45	8,6 Aa	7,0 Ab	6,0 Ab
45 - 60	7,2 Ba	5,7 Bb	5,1 Bb
60 - 75	6,5 Ca	4,8 Cb	4,5 Cb
75 - 90	5,9 Ca	4,5 Cb	4,0 Cb
90 - 105	4,7 Da	3,9 Db	3,4 Db

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Observa-se (tab. 1) que a transpiração diminui significativamente com o passar do tempo, da mesma forma para os três tratamentos. A diminuição da transpiração ao longo do tempo é explicada por sua alta correlação com a radiação (Fig. 5), o período avaliado corresponde aos meses de março a maio de 2010, com a aproximação do inverno os dias ficam mais curtos a radiação é reduzida e conseqüentemente a transpiração diminui.

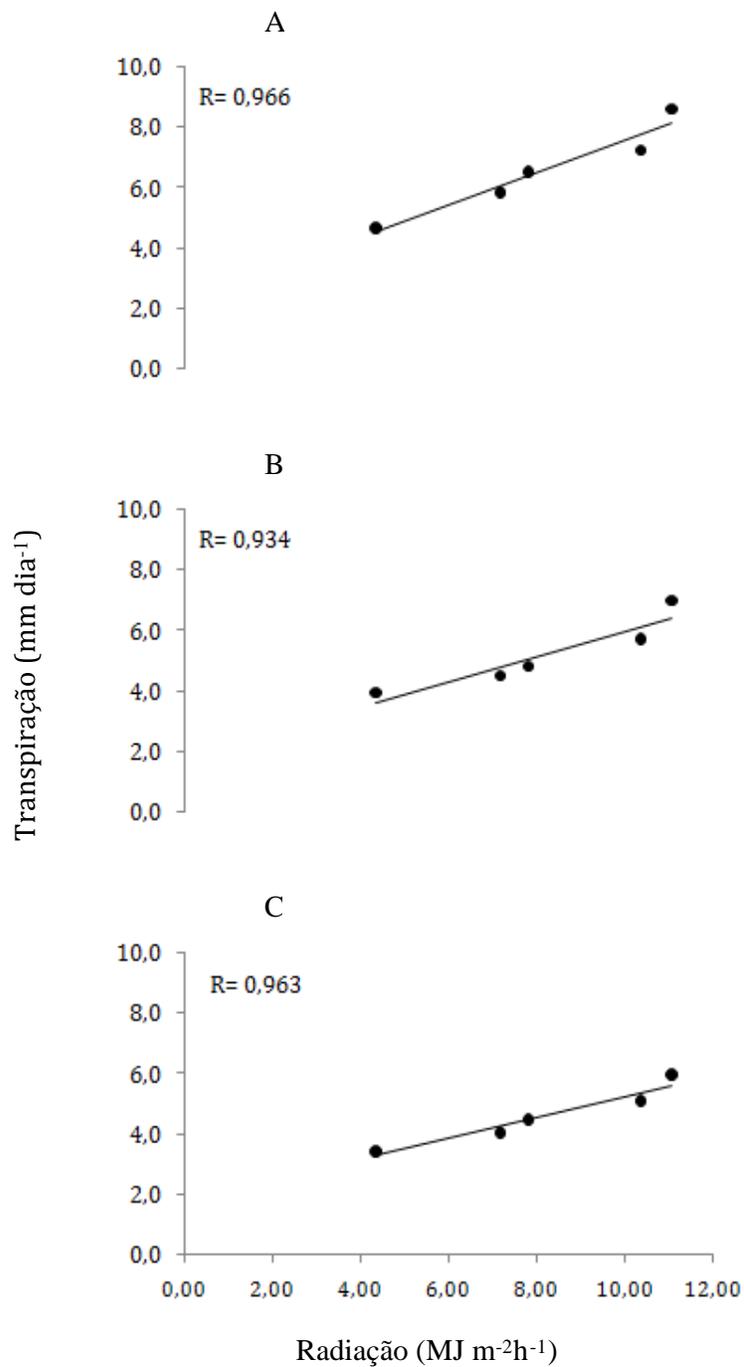


Figura 5. Transpiração média quinzenal da mamoneira cv. Al Guarany 2002 em função da radiação solar no período de 30 a 105 dias após a emergência (DAE), em T1(A), T2 (B) e T3 (C) cujas tensões de água no substrato são de 0,01 e 0,03 e 0,06MPa respectivamente.

4.2 Crescimento

4.2.1 Área Foliar (AF)

Na tabela 2 observa-se que a área foliar foi significativamente afetada pela tensão de água no substrato. Durante todo o período, a AF das plantas do T1 diferiu da AF das plantas do T3 e somente aos 60 e aos 90 DAE não diferiu quando comparada as plantas do T2. Aos 60 DAE as plantas do T2 apresentaram seu maior valor de AF e aos 90 DAE as plantas do T1 estavam começando a diminuir sua AF por isso para T1 e T2 a AF não diferiu nestes períodos. As plantas do T3 até os 60 DAE não diferiu das plantas do T2, no entanto a partir de então embora os valores de área foliar tenham diminuído em ambos tratamentos, para T3 a diminuição foi significativamente maior.

A diminuição da AF nas plantas do T2 e T3 é uma resposta para evitar a perda de água, menor AF menor transpiração. A menor AF pode ser resultado da redução da fotossíntese ou do balanço de distribuição de carboidratos que deslocam-se mais para as raízes do que para as folhas. Rodrigues et al. (2009), também observaram que em plantas de mamona a área foliar foi a variável de crescimento mais afetada, pela diminuição do teor de água no solo, diminuindo em 44,06% entre os níveis de reposição de água de 1,05 e 0,60 da evapotranspiração da cultura (ETc).

Tabela 2 – Valores médios de área foliar da mamoneira cv. Al Guarany 2002 nas tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06 MPa (T3) dos 45 aos 105 dias após emergência (DAE).

DAE	Área Foliar (m ²)		
	T1	T2	T3
45	0,32 Ba	0,25 Bb	0,25 Bb
60	0,36 Ba	0,33 Aab	0,27 Ab
75	0,42 Aa	0,29 Ab	0,23 Bc
90	0,34 Ba	0,30 Aa	0,22 Bc
105	0,35 Ba	0,28 Ab	0,23 Bc

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A tensão de água no substrato modificou o crescimento da AF com o tempo (tab.2). Até os 60 DAE, os valores de AF das plantas aumentaram nos três tratamentos. A partir dos 60 DAE, os valores de AF começaram a diminuir nas plantas do T2, no entanto os valores ainda continuaram próximos ao seu valor de maior AF, obtido aos 60 DAE. No T3 a AF foliar também diminuiu a partir dos 60 DAE, no entanto os valores foram significativamente inferiores aos valores de 60 DAE, onde ocorreu sua maior AF. No T1 a maior AF ocorreu aos 75 DAE. Barros Júnior (2007), também observou reduções na área foliar da mamoneira mais precocemente em menor nível de água disponível no solo. Isso deve-se ao fato de que em situações de déficit hídrico, a maioria dos vegetais procura alternativas para diminuir a evapotranspiração, reduzindo, principalmente a transpiração. Entre elas, Fageria (1989) cita a diminuição da área foliar, diminuindo, conseqüentemente, as perdas de água por transpiração.

Na Figura 6, observa-se as curvas de crescimento de AF. O aumento da tensão de água no substrato não influenciou o modelo de crescimento da AF, que pelos altos valores de R^2 ajustaram-se muito bem ao modelo logístico.

As plantas do T3 (Fig. 6C) apresentaram os maiores desvios padrões, condições de maior estresse hídrico resultaram em menor uniformidade entre plantas, posto que aos 30 DAE o desvio padrão entre as plantas do T1 (Fig. 6A) e do T2 (Fig. 6B), também foram altos e com a aplicação dos tratamentos os mesmos diminuíram.

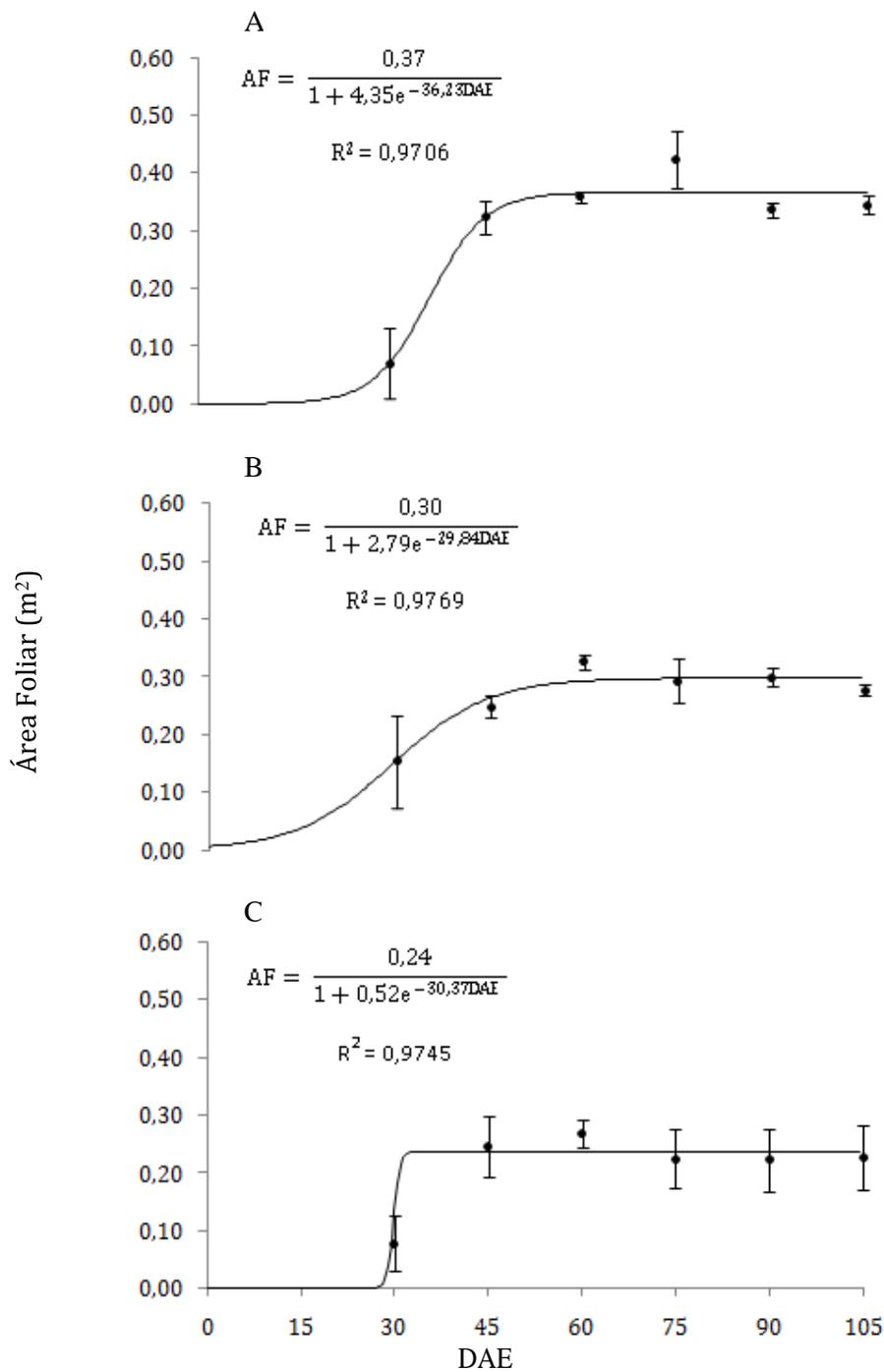


Figura 6 – Valores médios de área foliar da mamoneira (AF) cv. Al Guarany 2002 em função dos dias após emergência (DAE) em T1(A), T2 (B) e T3 (C), cujas tensões de água no substrato são de 0,01 e 0,03 e 0,06MPa respectivamente.

Barras verticais indicam o desvio padrão da média de cada avaliação.

4.2.2 Altura da planta (AP)

Observa-se na tabela 3 que o crescimento das plantas do T1 foi constante até 105 DAE, mostrado pela diferença significativa do AP entre os períodos de análise. Já nas plantas do T2 e T3 a partir dos 90 DAE o aumento na AP não foi significativo. A menor disponibilidade de água para as plantas do T2 e T3, fez com que as mesmas diminuíssem o crescimento vegetativo em relação as plantas do T1. Pinto (2006) também verificou a influencia da disponibilidade hídrica no crescimento da mamoneira, nas plantas irrigadas diariamente a altura final foi 41,75% superior a altura das plantas irrigadas com ciclos de deficiência onde a irrigação era feita com intervalos de 9 dias.

Tabela 3 – Valores médios de altura da mamoneira cv. Al Guarany 2002 nas tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06 MPa (T3) dos 45 aos 105 dias após emergência (DAE).

DAE	Altura de planta (cm)		
	T1	T2	T3
45	37,25 Ea	29,38 Db	24,55 Db
60	54,00 Da	49,25 Ca	38,75 Cb
75	64,25 Ca	59,00 Ba	50,00 Bb
90	73,38 Ba	66,50 Aa	58,00 Ab
105	79,50 Aa	70,75 Ab	61,00 Ac

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ainda na tabela 3 observar-se que a AP nas plantas do T3 foi significativamente inferior a AP de T1. Entre T1 e T2 só houve diferença significativa aos 45 DAE, período inicial do crescimento onde as plantas responderam melhor a maior quantidade de água no substrato, e aos 105 DAE onde as plantas do T2 não apresentavam incrementos significativos da AP. A disponibilidade hídrica influencia a AP da mamoneira, Rodrigues et al. (2009), trabalhando com duas cultivares de mamona BRS Nordestina e BRS Paraguaçu também observaram que a mamoneira foi sensível ao estresse hídrico, diminuindo o crescimento em altura, notoriamente quando irrigada com nível de reposição de 60% da evapotranspiração.

Na Figura 7, observa-se que assim como a AF a AP também ajustou-se bem ao modelo logístico nos três tratamentos, pelos altos valores de R^2 . Para AP, os maiores valores de desvio padrão (DP) ocorreram nas plantas do T3. No entanto, o

DP para as plantas do T2 e T3 também foram altos. A uniformidade na altura de plantas da mamoneira ainda é uma busca do melhoramento genético, mas parece que em condições de menor oferta hídrica essa uniformidade é ainda menor.

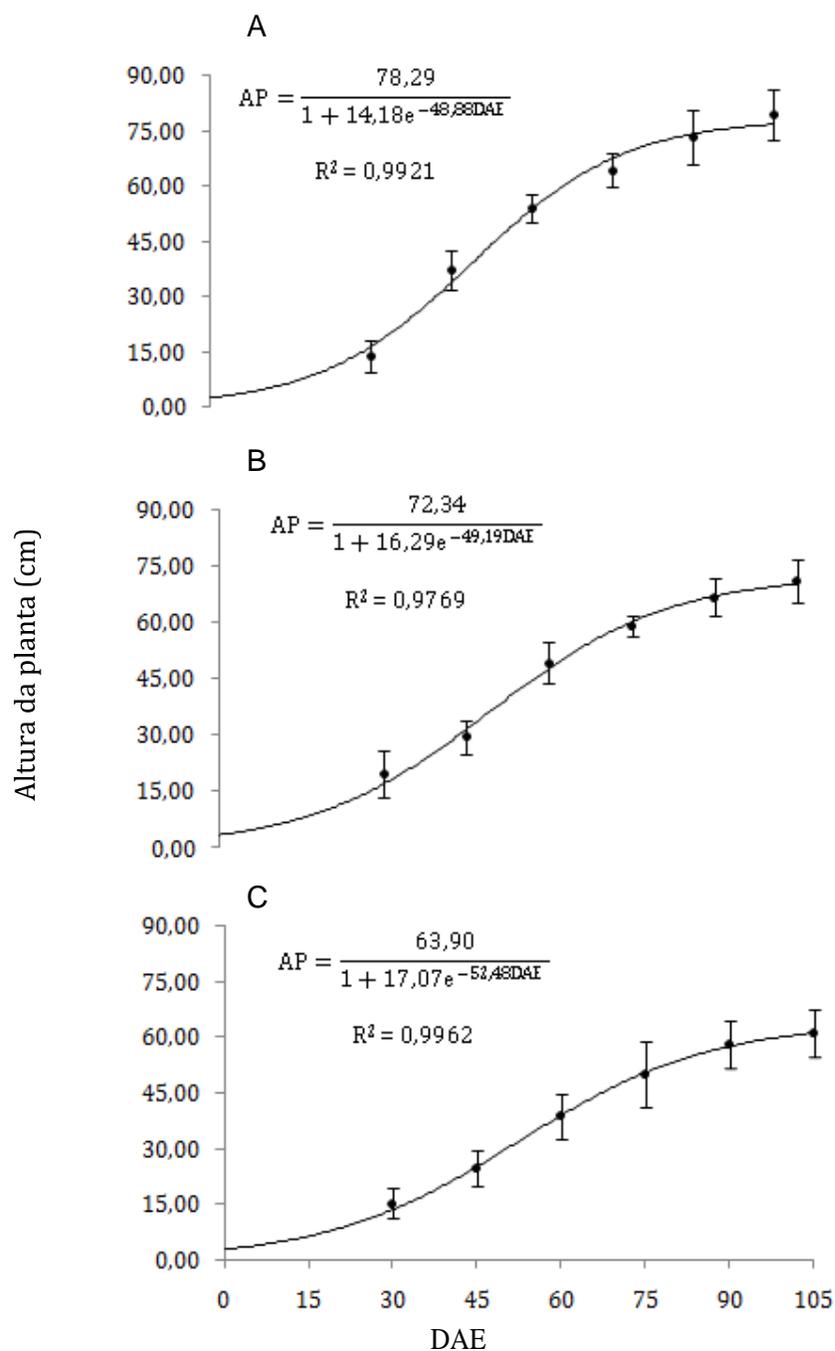


Figura 7 – Valores médios de altura da mamoneira cv. Al Guarany 2002 em função dos dias após emergência (DAE) em T1(A), T2 (B) e T3 (C) cujas tensões de água no substrato são de 0,01 e 0,03 e 0,06MPa respectivamente.

Barras verticais indicam o desvio padrão da média de cada amostragem.

Notoriamente, o aumento da tensão de água no substrato diminui a altura da mamoneira cv. Al Guarany 2002. Este resultado também foi observado por Lacerda (2006), ele verificou um incremento linear na altura de plantas de mamona cultivar BRS Paraguaçu com o aumento da disponibilidade hídrica no solo.

4.2.3 Diâmetro Caulinar (DC)

Na tabela 4 observar-se que o DC das plantas do T1 aumentou constantemente, até 105 DAE, mostrado pela diferença significativa do DC entre os períodos de análise. Já nas plantas do T2 e T3, a partir dos 90 DAE o aumento no DC não foi significativo. O DC das plantas do T1 foi significativamente superior ao DC das plantas do T2 e do T3, entre os tratamentos com maiores tensões de água no substrato T2 e T3 o DC não diferiu. Resultado semelhante foi encontrado por Xavier (2007) que notou diferenças significativas no diâmetro das plantas da cultivar BRS Nordestina irrigadas com águas residuárias, houve maior crescimento do diâmetro com os níveis de 80 e 100% de água disponível. O autor atribuiu o maior crescimento do DC tanto a disponibilidade hídrica quanto ao aporte de nutrientes das águas residuárias.

Tabela 4 - Valores médios de diâmetro caulinar da mamoneira cv. Al Guarany 2002 nas tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06 MPa (T3) dos 45 aos 105 dias após emergência (DAE).

DAE	Diâmetro caulinar (cm)		
	T1	T2	T3
45	2,13 Ea	1,75 Dab	1,48 Db
60	2,50 Da	1,88 Cb	1,62 Cb
75	2,73 Ca	2,03 Bb	1,75 Bb
90	2,88 Ba	2,19 Ab	1,88 Ab
105	3,08 Aa	2,30 Ab	1,98 Ab

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na altura da planta foram encontrados resultados semelhantes, o que indica uma alta relação entre as variáveis AP e DC. Na Figura 8, estão apresentadas as regressões do DC em função da AP, observa-se altas correlações para os três tratamentos. Essa é uma relação importante, pois à medida que a planta cresce o diâmetro de seu caule deve aumentar para lhe garantir sustentação. A disponibilidade de água não afetou essa relação, com o aumento da tensão de água

no substrato tanto AP quando DC diminuíram. Barros Junior (2007), também verificou que em resposta a deficiência hídrica houve reduções na altura da planta e no diâmetro do caule de mamona.

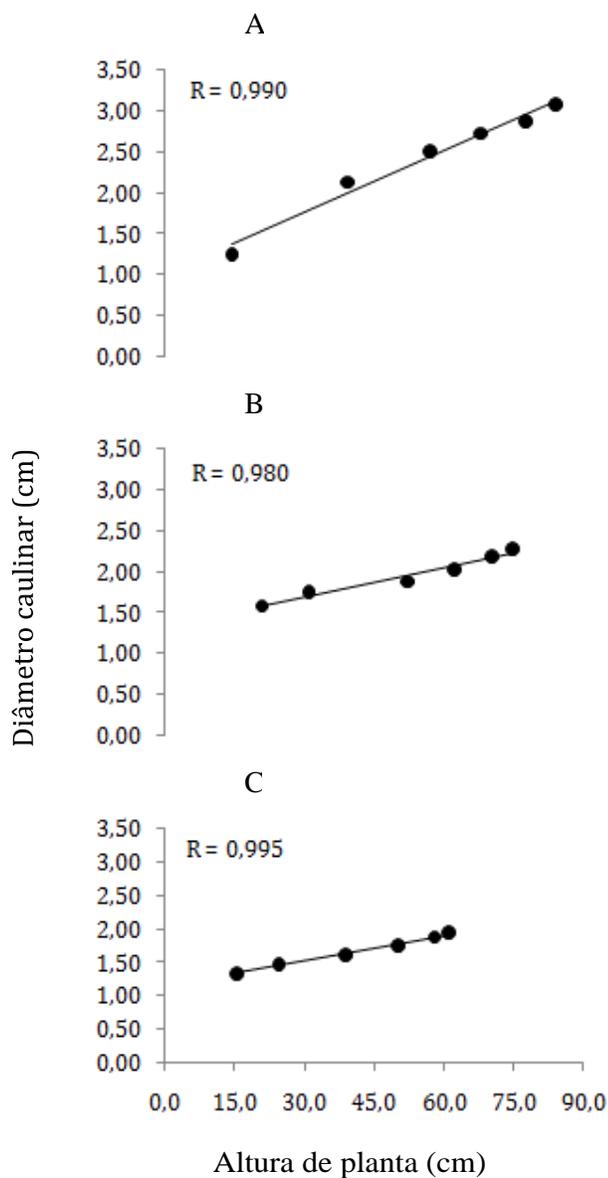


Figura 8 – Valores médios de diâmetro caulinar (DC) da mamoneira cv. Al Guarany 2002 em função da altura da planta (AP) em T1(A), T2 (B) e T3 (C) cujas tensões de água no substrato são de 0,01 e 0,03 e 0,06MPa respectivamente.

Na Figura 9 observa-se que o DC assim como as outras variáveis de crescimento AF e AP, também tem o modelo de seu crescimento bem ajustado pela função logística, visto os altos valores de R^2 . Os maiores valores de desvio padrão (DP) ocorreram nas plantas do T2. No entanto o DP para as plantas do T1 e T3

também foram altos. Devido a sua alta correlação com a AP o DC também apresenta uma baixa uniformidade.

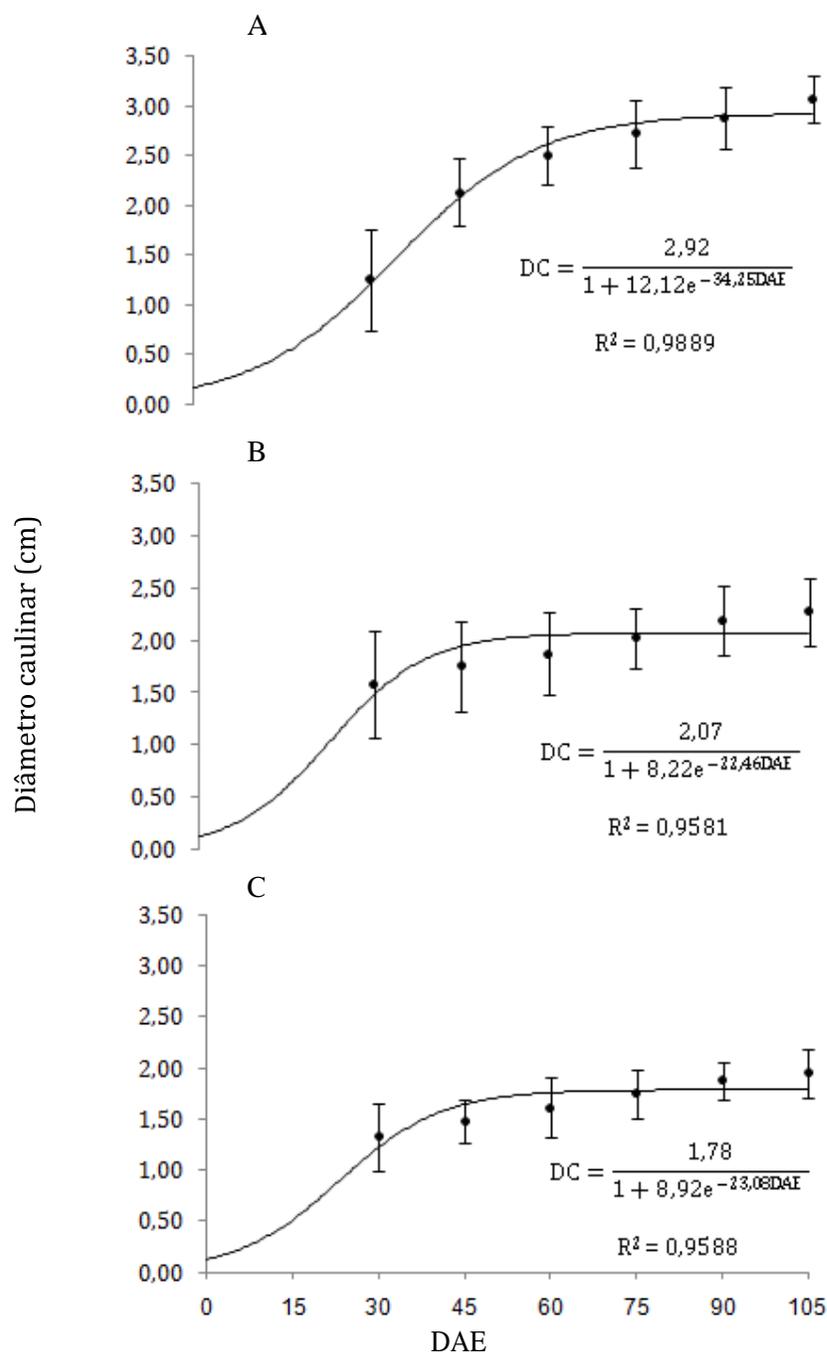


Figura 9 – Valores médios de diâmetro caulinar da mamoneira cv. Al Guarany 2002 em função dos dias após emergência (DAE) em T1(A), T2 (B) e T3 (C) cujas tensões de água no substrato são de 0,01 e 0,03 e 0,06MPa respectivamente.

Barras verticais indicam o desvio padrão da média de cada amostragem.

4.3. Desenvolvimento

4.3.1. Floração e Inserção do racemo primário

Na tabela 5, pode-se observar que o tempo para início da floração e a altura de inserção do racemo primário foram significativamente influenciados pela tensão de água no solo. As plantas do T1 apresentaram a maior altura de inserção do racemo primário e floresceram mais tardiamente, nas plantas do T3 a inserção do racemo primário se deu menor altura e o início da floração foi o mais precoce. Segundo Weiss (2000), em condições de elevada disponibilidade hídrica a mamoneira privilegia o crescimento vegetativo em detrimento da floração e frutificação. Souza et al. (2007) observaram que quando plantada em época de menor oferta hídrica a mamona emite o racemo primário a uma menor altura e mais precocemente.

Tabela 5 – Tempo para início da floração (IF) e altura de inserção do racemo primário (AIR) para mamoneira cv. Al Guarany 2002 nas tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06 MPa (T3).

Tratamento	IF (dias)	AIR (cm)
T1	75,25 a	66,75 a
T2	66,25 b	53,00 b
T3	51,00 c	31,75 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Existiu uma estreita relação entre a diminuição do crescimento vegetativo e o tempo para floração, já que os menores valores de área foliar, altura e diâmetro caulinar foram encontrados nas plantas do T3 que foram as primeiras a florescer. Para Larcher (2000), paralisações no crescimento vegetativo em função da aceleração da produção ocorrem pela canalização da energia e de materiais destinados à floração e frutificação, que por sua vez originam-se no processo fotossintético, na incorporação de substâncias minerais e na mobilização de reservas para formação e enchimento dos frutos.

4.4 Indicadores de estresse hídrico

4.4.1 Potencial hídrico na folha (ψ_{WF})

Observa-se na tabela 5 que os valores de ψ_{WF} foram maiores para as plantas do T1, e que neste tratamento os valores não diminuíram significativamente às 12h. Na maior umidade do substrato, as plantas mesmo com aumento da demanda evaporativa, por conta do aumento da radiação, diminuem pouco o ψ_{WF} . Nestas condições as plantas tem água disponível para suprir a demanda. O ψ_{WF} das plantas do T2 foi superior ao das plantas do T3, no entanto para os dois tratamentos o ψ_{WF} diminui significativamente às 12h. Resultados semelhantes foram encontrados por Sausen (2007), em seu estudo com plantas de mamona a redução da umidade gravimétrica do solo de 0,31 para 0,26 g g⁻¹ diminuiu o ψ_{WF} de -0,7 para -1,2 MPa.

A diminuição do ψ_{WF} indica que as plantas do T2 e do T3 estão sob condições de estresse hídrico. Estes resultados corroboram os resultados de transpiração que também diminui a partir de 0,03MPa de tensão de água no substrato, e os resultados de crescimento, em maiores tensões menores ψ_{WF} , o que indica que a planta está sob estresse, e nessas condições as plantas diminuem o crescimento.

Tabela 6 - Valores médios de potencial de água na folha (ψ_{WF}) para mamoneira cv. Al Guarany 2002 nas plantas que foram cultivadas nas tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06 MPa (T3) às 7 e às 12h.

Horário	ψ_{WF} (-MPa)		
	T1	T2	T3
7h	0,28 Aa	0,48 Ab	0,77 Ac
12h	0,31 Aa	0,59 Bb	0,92 Bc

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na Figura 10A observa-se que o ψ_{WF} de base possui uma relação linear com a tensão de água no substrato (τ), como o potencial de base é medido antes da abertura estomática, parece haver um equilíbrio entre o estado hídrico da planta e o do solo.

Observa-se na Figura 10B que O ψ_{WF} ao meio dia apresentou alta correlação com a tensão de água no substrato (τ), porém seu ajuste foi quadrático,

demonstrando a influência de outras variáveis, como a demanda evaporativa, no ψ_{wF} . Realizando trabalho com milho, Bergonci et al. (2000) observaram que ψ_{wF} medido antes do amanhecer reflete o equilíbrio de potencial entre a planta e o solo e descreve bem o estado hídrico da planta, devido a sua independência com relação às condições ambientais diurnas. Já o abaixamento do potencial da água nas horas mais quentes do dia reflete, na verdade, o efeito da deficiência hídrica no solo.

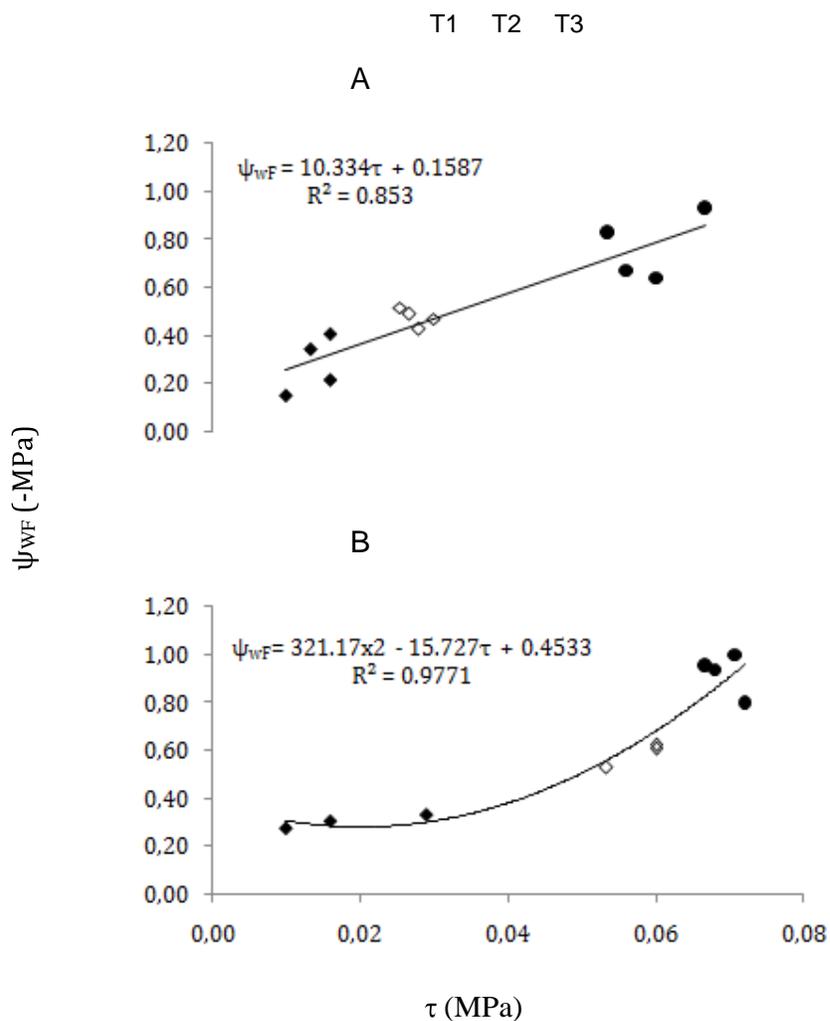


Figura 10. Potencial de água na folha (ψ_{wF}) da mamoneira cv. Al Guarany 2002 em função da tensão de água no solo (τ) nas plantas que foram cultivadas nas tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06 MPa (T3), às 7h (A) e às 12h (B).

4.4.2 Firmeza da folha

Pode-se observar (tab.7) que a firmeza da folha diminui significativamente com o aumento da tensão de água no substrato tanto às 7h quanto às 12h. A firmeza da folha expressa a pressão necessária para aplanção da folha, assim quando mais hidratada a folha estiver maior será a pressão aplicada. A hidratação da folha está ligada a sua turgescência, logo a firmeza foliar reflete o turgor da folha e assim como este é influenciada pelo déficit hídrico.

Tabela 7 – Valores médios de firmeza da folha para mamoneira cv. Al Guarany 2002 nas plantas que foram cultivadas nas tensões de 0,01 MPa (T1), 0,03 MPa (T2) e 0,06 MPa (T3) às 7 e às 12h.

Horário	Firmeza da folha (MPa)		
	T1	T2	T3
7h	0,27 a	0,17 b	0,12 c
12h	0,24 a	0,12 b	0,11 c

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na Figura 11 observa-se que os valores de firmeza foliar diminuem e a tensão de água no solo aumenta das 7h (A) para as 12h (B). Com a incidência da radiação solar o processo fotossintético é iniciado, neste processo a planta perde água a medida que absorve CO₂, para que se mantenha o equilíbrio a água perdida pelas folhas as raízes absorvem do substrato. Esse processo aumenta a tensão de água no substrato e, conseqüentemente, diminui a quantidade de água na folha da planta, diminuindo a firmeza foliar.

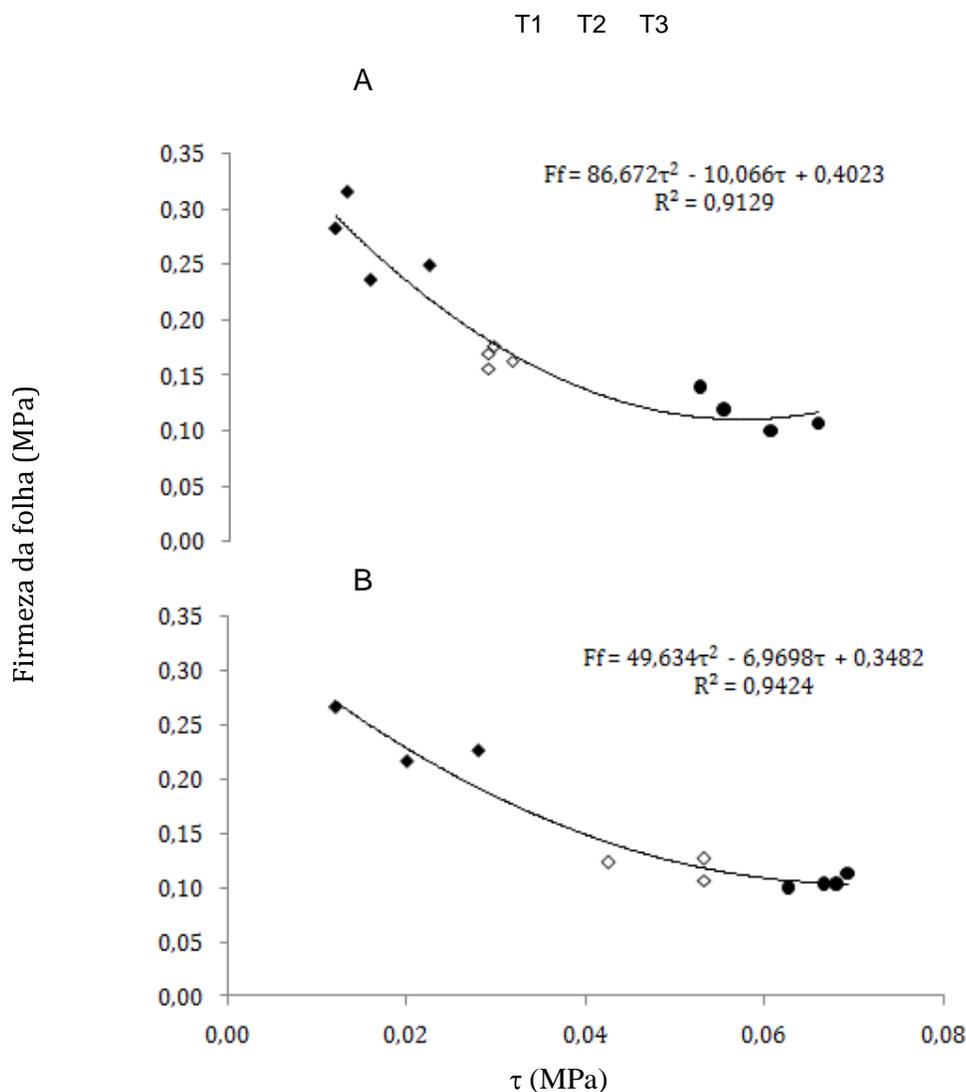


Figura 11. Firmeza da folha (Ff) da mamoneira cv. Al Guarany 2002 em função da tensão de água no solo (τ) nas plantas que foram cultivadas nas tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06 MPa (T3), às 7h (A) e às 12h (B).

A mamoneira mantém uma pressão mínima de 0,10MPa de firmeza da folha em ambos horários (Fig. 11). Isso pode ser resultado da utilização de mecanismos que limitem a perda de água, como por exemplo, o fechamento estomático. Um dos mecanismos de fechamento estomático o “feedforward” ocorre devido ao movimento causado pela desidratação, perda de turgor, das células guarda do estômato. Como resultado dessa defesa a planta diminui a fotossíntese e, com isso, seu crescimento e produção podem ser comprometidos.

Conforme Sayar et al. (2008), o déficit hídrico diminui o ψ_{wF} levando a uma redução no turgor. Na Figura 12 observa-se a alta correlação entre o ψ_{wF} e a firmeza da folha. Esta relação é esperada posto que quando maior o turgor celular maior a firmeza da folha.

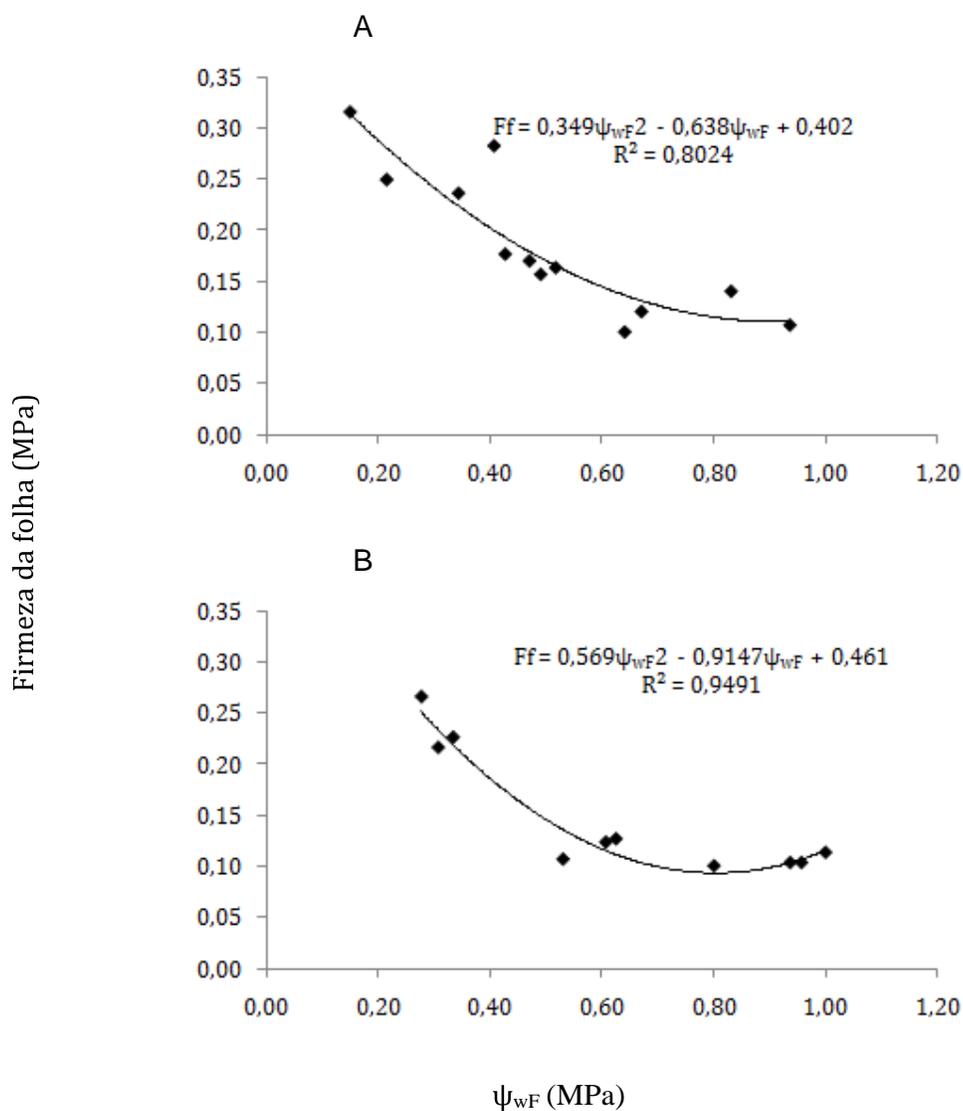


Figura 12. Firmeza da folha (Ff) em função potencial hídrico da folha (ψ_{wF}) na mamoneira cv. Al Guarany 2002 às 7h (A) e às 12h (B).

4.4.3 Resistência estomática

Pode-se observar na tabela 8 que as plantas de mamona aumentam a resistência estomática nas maiores tensões de água no substrato e quando há maior incidência da radiação, que ocorre às 12h. Sendo que quanto maior a tensão de água no solo, mais as plantas aumentam a resistência estomática entre as 7h e as 12h. Sausen (2007) estudando respostas fisiológicas da mamoneira a condições de déficit hídrico também verificou reduções da condutância estomática, que indica um eficiente controle da perda de água. Castro Neto (2003) num estudo da relação dos efeitos da água sobre os fatores estomáticos em mangueiras, verificou que a resistência estomática é refletida pela disponibilidade de água para as plantas.

Com o fechamento estomático a mamona diminui transpiração evitando a perda de água, segundo Silva et al. (2003) o controle estomático da transpiração é um mecanismo utilizado por muitas espécies para restringir a perda de água e superar períodos de seca.

Tabela 8 – Valores médios de resistência estomática para mamoneira cv. Al Guarany 2002 nas plantas que foram cultivadas nas tensões de 0,01MPa (T1), 0,03MPa (T2) e 0,06 MPa (T3) às 7 e às 12h.

Horário	Resistência estomática (s cm ⁻¹)		
	T1	T2	T3
7h	1,50 Ba	2,31 Bb	15,65 Bc
12h	2,27 Aa	4,21 Ab	19,18 Ac

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Observa-se uma alta correlação da resistência estomática com o ψ_{WF} tanto às 7h (Fig. 13 A), quanto às 12h (Fig. 13 B). Para manter o ψ_{WF} entre - 0,2 e -0,6 MPa a resistência estomática não varia muito e seus valores não passam de 5 s cm⁻¹, no entanto para manter o ψ_{WF} em -1 MPa a resistência estomática aumenta em torno de 5 vezes. Isso ocorre porque, como descrito por Taiz e Zeiger (2004), quando o potencial da água no solo é baixo, a abertura dos estômatos não é mais dependente da radiação solar, e sim, do potencial da água na folha, o qual é dependente da

umidade do solo. O déficit hídrico estimula o fechamento estomático nas horas de maior radiação aumentando a resistência estomática.

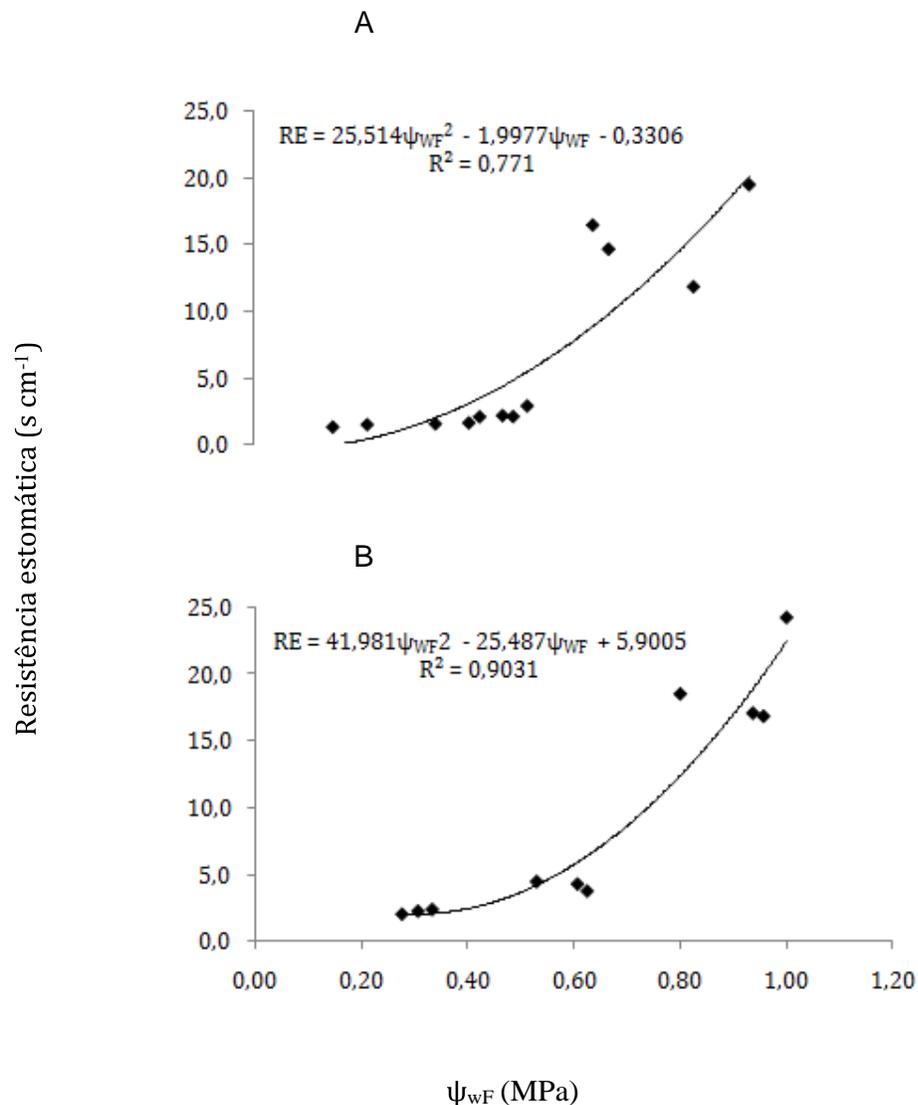


Figura 13. Resistência estomática foliar em função potencial hídrico da folha (ψ_{wF}) na mamoneira cv. Al Guarany 2002 às 7h (A) e às 12h (B).

A mamoneira aumenta a resistência estomática nas horas de maior demanda e em maiores tensões de água no solo, com isso, tem-se a diminuição do potencial de água na folha e, conseqüentemente, do turgor celular. Estes mecanismos, por afetar diretamente o processo fotossintético, vão interferir no crescimento e desenvolvimento da planta.

5 CONCLUSÕES

- a) A tensão de água no substrato influencia a fenologia da mamona cv. Al Guarany 2002, a planta tem seu período vegetativo diminuído e sua entrada na fase reprodutiva adiantada com a diminuição da disponibilidade hídrica.
- b) Em condições de déficit hídrico o crescimento vegetativo da mamona é comprometido, as plantas submetidas as tensões de água no substrato de 0,03 e 0,06 MPa apresentaram os menores valores de área foliar, altura e diâmetro caulinar.
- c) A evapotranspiração da mamoneira é influenciada pela disponibilidade hídrica e pela radiação solar, com o aumento da tensão da água no substrato e a menor incidência da radiação os valores de evapotranspiração diminuem.
- d) As condições diárias de maior estresse ocorrem às 12h, neste período quanto maior a tensão de água no substrato maior a resistência estomática e menores o potencial de água na folha e a firmeza da folha da mamoneira.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mamona é uma espécie sensível ao déficit hídrico tendo os valores e o comportamento de seu crescimento vegetativo e floração alterados pela falta de água. A manutenção da umidade no solo na fase inicial de seu crescimento é fundamental, e restrições nesta fase vão possivelmente refletir na produção das plantas.

Na busca por maiores produtividades da mamoneira cabe estudos que avaliem a viabilidade econômica de se irrigar essa cultura, posto que a mesma responde muito bem ao fornecimento adequado de água.

7 REFERÊNCIAS

AMORIM NETO, M. da S.; ARAÚJO, A.E. de; BELTRÃO, N.E. de M. Clima e solo. In: **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.p. 37- 61.

AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S. Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) no Brasil. Campina Grande: CNPA, 1997. 52p.

BARBOUR, M. M.; BUCKLEY, T. N. The stomatal response to evaporative demand persists at night in *Ricinus communis* plants with high nocturnal conductance. **Plant, Cell and Environment**, v. 30 p. 711-21, 2007.

BARROS JÚNIOR, G. Efeito do conteúdo de água do solo, monitorado com TDR, sobre o desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamona. 2007. 153f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande.

BECKMANN, M.Z.; DUARTE, G.R.B.; PAULA, V.A. de; MENDEZ, M.E.G.; PEIL, R.M.N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.36, p.86-92, 2006.

BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, L. C.; VASCONCELOS, O. L.; AZEVEDO, D. M. P. de.; VIEIRA, D. J. Fitologia. In: **O Agronegócio da mamona no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 37-61.

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**, v.35, n.8, p.1531-1540, 2000.

BERKOWITZ, G. A. Water and salt stress. In: **Photosynthesis: a comprehensive treatise**. Cambridge: CAMBRIDGE UNIVERSITY, 1998. p.226-237.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elements of the Nature and Properties of Soils**. New Jersey: P. Hall, 1999. 559p.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. **Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos.** Brasília : Embrapa Hortaliças. 2005.174 p.

CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D.; PESSOA, J. D. C. **Wiltmeter para a medida da firmeza das folhas.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária. 2008. 4p. Circular, 43.

CAMACHO, M.J.; ASSIS, F.N. de; MARTINS, S.R.; MENDEZ, M.E.G. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.3, p.19-24, 1995.

CARVALHO, B. C. L. **Manual do cultivo da mamona.** Salvador: EBDA, 2005. 65p.

CASTRO NETO, M. T. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática da mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 23-95, 2003.

CASTRO, S. M. J. A metodologia de análise de dados longitudinais. 1997. 119p. Monografia (Bacharel em Estatística). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

CAUSTON, D.R. & VENUS, J.C. The biometry of plant growth. London, Edward Arnold, 1981, 307p.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.0). **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 1. p. 191-192, 2000.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mamona. Disponível em < <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/cultivares.html>>. Acesso em 28 nov. 2010.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações técnicas para o cultivo da mamoneira (Ricinus communis L.) no nordeste do Brasil.** Campina Grande: Embrapa Algodão. 1997. 52p. Circular, 25.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO: **Laboratório de Agrometeorologia.** Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/agromet/>> Acesso em: 14 jan. 2011.

FAGERIA, N. K. Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas. Brasília: Embrapa/DPU, 1989. 425p. (Documento, 18).

FARIAS, J.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R.; BERLATO, M.A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.1, p.31-36, 1993.

FERNÁNDEZ, C.J.; MCINNES, K.J.; COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v.36, p.1224-1233, 1996.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. Passo Fundo: UPF, 2004.

GEE, G.W. & OR, D. Particle-size analysis. In: **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p.255-293.

HECKENBERGER, U.; ROGGATZ, U.; SCHURR, U. Effect of drought stress on the cytological status in *Ricinus communis*. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 319 p. 181-189, 1998.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa.htm>> Acesso em 5 jan. 2011.

JARRAMILLO, D.F.J. **Introducción a la Ciencia del Suelo**. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2002. 613p.

JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2 ed. 1992. 428 p.

KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K. DOITSINIS, A. Water Requirements for Castor Oil Crop "*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean Climate. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 184, p. 33-41, 2000.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San diego: Academic press, 1995. 495p.

LACERDA, R. D. de. Resposta da mamoneira BRS 188 – Paraguaçu a diferentes níveis de água e matéria orgânica no solo. 2006. 70p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Campina Grande.

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

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, 2005. 497p.

LIU, C.H. e DICKMANN, D.I. Responses of two hybrid clones to flooding, drought, and nitrogen availability. II. Gas exchange and water relations. **Canadian Journal of Botany**, n. 71, p. 927-938, 1993.

MAZZANI, B. Euforbiáceas oleaginosas: tártago. In: **Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas**. Caracas, Venezuela: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuárias, 1983. p. 277-360.

MENESES, G. M. L. Análise e estimativa da produtividade da cultura da mamona para produção de biodiesel em função do período chuvoso no estado do Ceará. 2007. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

- MOSHKIN, V.A. Ecology. In: **Castor**. NewDelhi: Amerind. 1986. p. 54- 64.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Meteorologia Agrícola. 3 ed. Piracicaba, 2000.
- PINTO, C.M. Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. 2006. 80f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) Universidade Federal do Ceará. Ceará.
- POPOVA, G.M.; MOSHKIN, V.A. Botanical classification. In: **Castor**. New Delhi: Amerind, 1986. p. 11-27.
- RAVEN, H.P.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. 1996. **Biologia Vegetal**. 5 ed. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan, 738p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.
- RODRIGUES, L. N.; NERY, A. R.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M.; GHEYI, H. R. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, p.825–835, 2009.
- RODRIGUES, R. F. O.; OLIVEIRA, F.; FONSECA, A. M. As folhas de Palma Christi – *Ricinus communis* L. Euphorbiaceae Jussieu. Revisão de conhecimentos. **Revista Lecta**, v. 20, n. 2, p. 183-194, 2002.
- SANTOS, R.F. CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.
- SAS - STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS User's Guide**, 9. ed. Cary: SAS Institute, 2002.
- SAUSEN. T.L. Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo. 2007. 71f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- SAVY FILHO, A. **Mamona tecnologia agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005. 105p.
- SAYAR, R.; KHEMIRA, H.; KAMELI, A.; MOSBAHI, M. Physiological tests as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). **Agronomy Research**, n.6, p. 79-90, 2008.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; HEMMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Sap pressure in vascular plants. **Science**, 148: 339-346, 1965.

SEVERINO, L.S. et al. Método para Determinação da Área Foliar da Mamoneira. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).

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

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

SILVA, W.J. da. Aptidões climáticas para as culturas do girassol, mamona e amendoim. Informe Agropecuário, v. 7 n. 82, p. 24-33, aut. 1981.

SOUZA, A. S. et al. Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. II – crescimento e produtividade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.4, p.422-429, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 722p.

van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**. n. 44, p. 892-898, 1980.

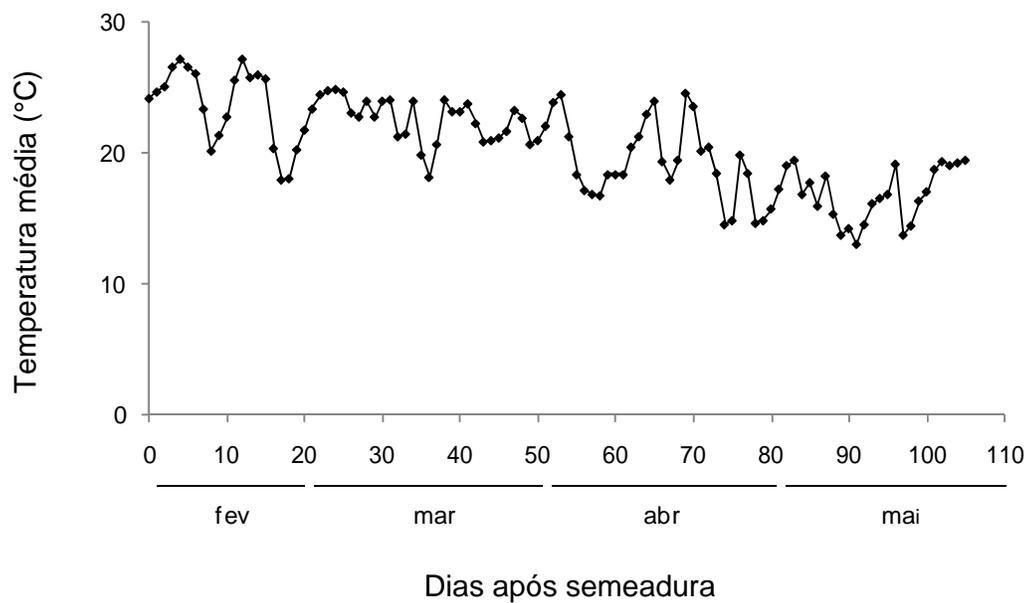
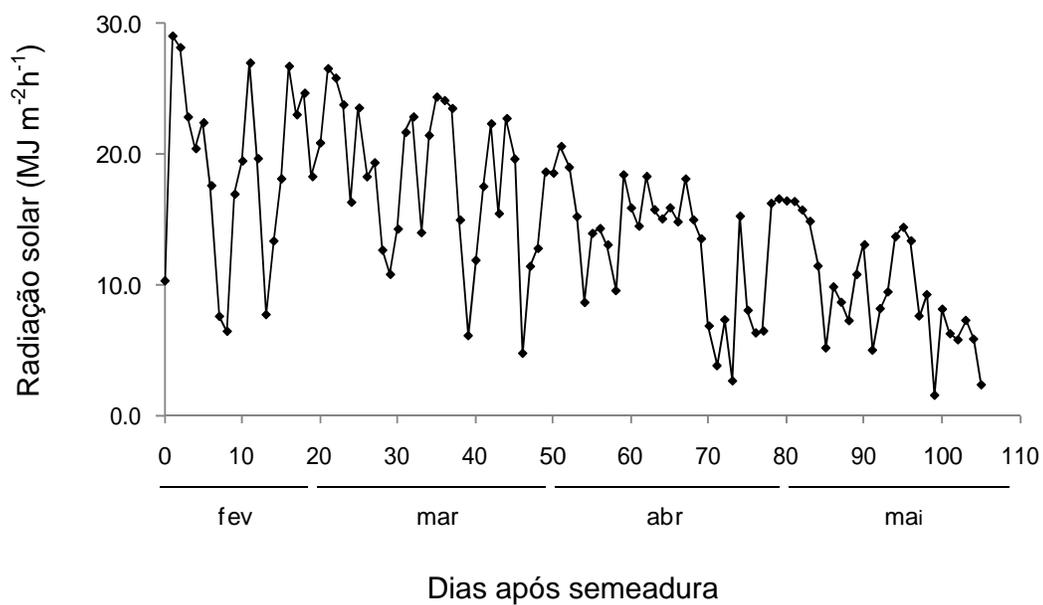
WEISS, E. A. **Oilseed crops**. London: Blackwell Science, 2000. 364p.

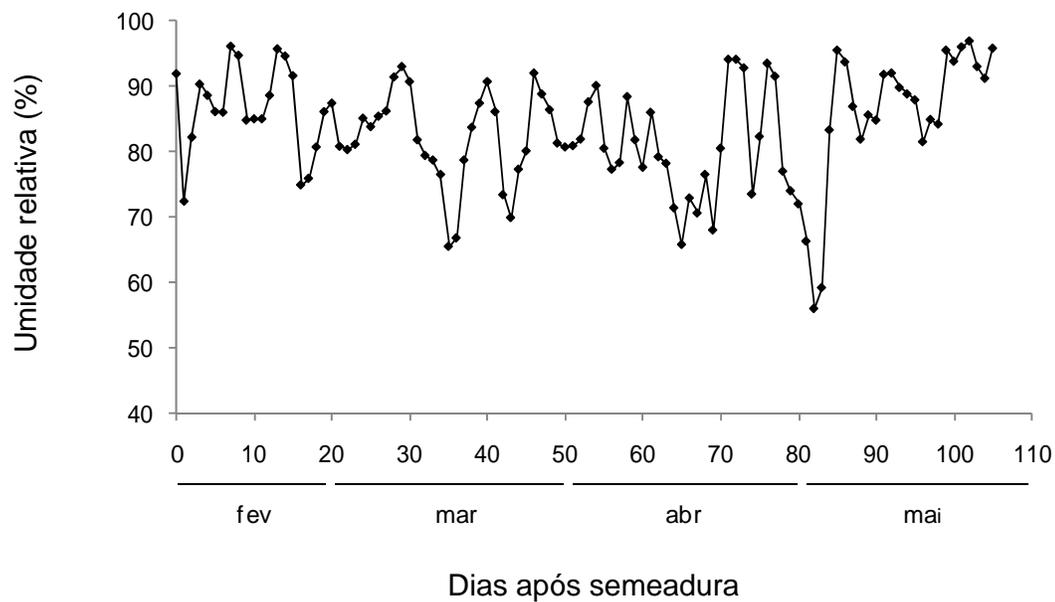
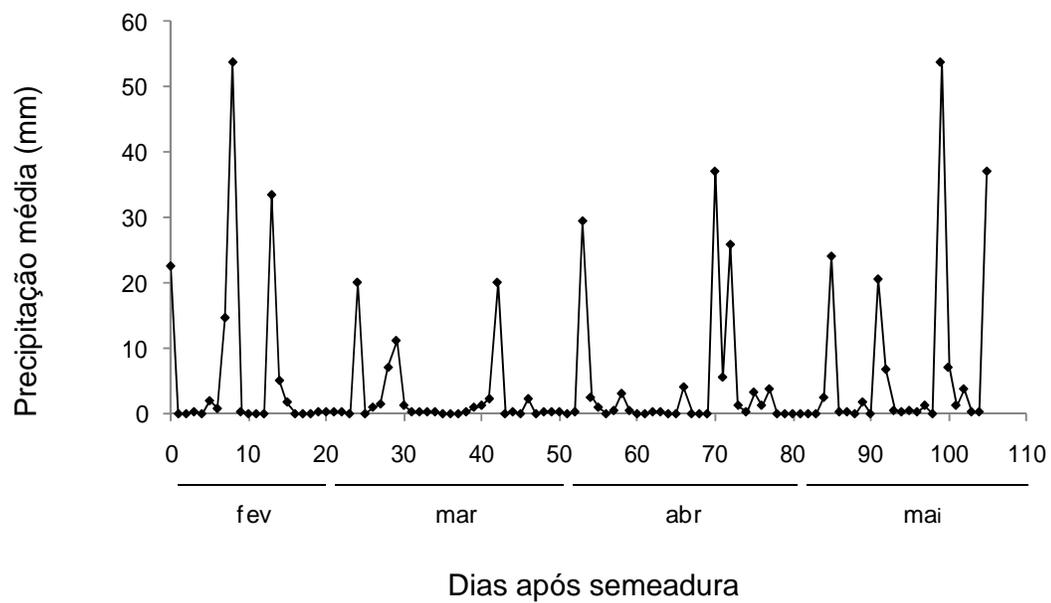
XAVIER, J. F. Águas residuárias provenientes de indústrias e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS Nordestina. 2007. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Campina Grande.

ZHU, J.K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**. n. 53, p. 247–73, 2002.

ANEXOS

Anexo 1: Dados climatológicos médios do período de condução do experimento (8/02/2010 à 31/05/2010), coletados na Estação Meteorológica da Embrapa Clima Temperado.





Anexo 2: Análise química do substrato utilizado no cultivo da mamoneira cv. Al Guarany 2002 cultivada em diferentes tensões de água no substrato.

pH	P	K	Al	Ca	Mg
(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)			(cmol _c dm ⁻³)	
5,6	7,2	17,3	0,4	8,3	1,5

Anexo 3: Estimativa dos parâmetros para ajuste da curva de crescimento da área foliar, para T1, T2 e T3 cujas tensões de água no substrato são de 0,01 e 0,03 e 0,06MPa respectivamente.

Área foliar				
Tratamento	Estimativa dos parâmetros	Erro padrão	t	p
T1	a = 0,37	0,02	18,32	0,0004
	β = 4,35	1,65	2,62	0,0789
	γ = 36,23	2,76	13,08	0,0010
T2	a = 0,29	0,01	25,55	<0.0001
	β = 7,61	2,78	2,73	0,0523
	γ = 29,85	2,22	13,39	0,0002
T3	a = 0,24	0,09	26,98	<0.0001
	β = 0,52	2,76	0,18	0,8593
	γ = 30,37	1,94	15,63	<0.0001

Anexo 4: Estimativa dos parâmetros para ajuste da curva de crescimento da altura da planta, para T1, T2 e T3 cujas tensões de água no substrato são de 0,01 e 0,03 e 0,06MPa respectivamente.

Altura da planta				
Tratamento	Estimativa dos parâmetros	Erro padrão	t	p
T1	a = 78,29	3,29	23,83	<0.0001
	β = 14,18	2,05	6,93	0,0023
	γ = 48,88	2,26	21,58	<0.0001
T2	a = 72,34	3,07	23,57	<0.0001
	β = 16,29	2,10	7,78	0,0015
	γ = 49,19	2,37	20,78	<0.0001
T3	a = 63,90	2,32	27,50	<0.0001
	β = 17,07	1,67	10,21	0,0005
	γ = 52,48	2,01	26,11	<0.0001

Anexo 5: Estimativa dos parâmetros para ajuste da curva de crescimento do diâmetro caulinar, para T1, T2 e T3 cujas tensões de água no substrato são de 0,01 e 0,03 e 0,06MPa respectivamente.

Diâmetro caulinar				
Tratamento	Estimativa dos parâmetros	Erro padrão	t	p
T1	a = 2,92	0,10	30,33	<0.0001
	β = 12,12	2,14	5,66	0,0048
	γ = 34,25	2,05	16,67	<0.0001
T2	a = 2,07	0,10	21,19	<0.0001
	β = 8,22	3,47	2,37	0,0767
	γ = 22,46	4,47	5,03	0,0073
T3	a = 1,78	0,09	20,85	<0.0001
	β = 8,92	3,46	2,58	0,0616
	γ = 23,08	4,26	5,42	0,0056

Anexo 6: Teste dos efeitos para as variáveis transpiração, área foliar, altura de planta e diâmetro caulinar da mamoneira cv. Al Guarany 2002 cultivada em diferentes tensões de água no substrato.

Variável	Efeito	GL (numerador)	GL (denominador)	Valor F	Pr > F
Transpiração	Tratamento	2	9	21,89	0,0003
	Tempo	4	36	28,73	<0,0001
	Tratamento*Tempo	8	36	0,65	0,7326
Área foliar	Tratamento	2	9	25,84	0,0002
	Tempo	4	36	40,88	<0,0001
	Tratamento*Tempo	8	36	4,64	0,0002
Altura de planta	Tratamento	2	9	9,44	0,0062
	Tempo	4	36	148,56	<0,0001
	Tratamento*Tempo	8	36	3,25	0,0031
Diâmetro Caulinar	Tratamento	2	9	4,87	0,0368
	Tempo	4	36	72,93	<0,0001
	Tratamento*Tempo	8	36	15,72	<0,0001

Anexo 7: Teste dos efeitos para as variáveis potencial de água na folha, firmeza da folha e resistência estomática da mamoneira cv. Al Guarany 2002 cultivada em diferentes tensões de água no substrato.

Variável	Efeito	GL (numerador)	GL (denominador)	Valor F	Pr > F
Potencial de água na folha	Tratamento	2	33	143,51	<0,0001
	Tempo	1	24	23,94	<0,0001
	Tratamento*Tempo	2	24	4,58	0,0206
Firmeza da folha	Tratamento	2	33	104,96	<0,0001
	Tempo	1	24	7,27	0,0614
	Tratamento*Tempo	2	24	1,36	0,2727
Resistência estomática	Tratamento	2	33	9,44	0,0062
	Tempo	1	24	148,56	<0,0001
	Tratamento*Tempo	2	24	3,25	0,0031

Anexo 8: Parâmetros de ajuste da curva de retenção de água no substrato no cultivo da mamoneira cv. Al Guarany 2002 cultivada em diferentes tensões de água no substrato.

a	m	n	θ_r	θ_s
0,0189	0,7227	0,6875	0,1030	0,3900

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

P659r Pinto, Marília Alves Brito

Resposta da mamoneira (*Ricinus communis* L., cv. AL Guarany 2002) a diferentes tensões de água no solo / Marília Alves Brito Pinto; orientador Luís Carlos Timm; co-orientador Carlos Reisser Júnior, Eloy Antonio Pauletto, Sérgio Delmar dos Anjos e Silva. - Pelotas, 2011.63f. ; il.- Dissertação (Mestrado) – área de conhecimento em Solos. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011.

1. *Ricinus communis* L. 2. Crescimento 3. Estresse hídrico 4. Desenvolvimento 5. Transpiração I. Timm, Luís Carlos (orientador) II .Título.

CDD 665.353

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.