

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FABÍOLA VANESSA DE FRANÇA SILVA

METABOLISMO E CRESCIMENTO DE *Ricinus communis* L.
SOB TEMPERATURA SUPRAÓTIMA E ELEVADO NÍVEL DE CO₂

AREIA – PB

2011

FABÍOLA VANESSA DE FRANÇA SILVA

**METABOLISMO E CRESCIMENTO DE *Ricinus communis* L.
SOB TEMPERATURA SUPRAÓTIMA E ELEVADO NÍVEL DE CO₂**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências para a obtenção do Grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Agricultura Tropical.

Orientador:

Profº Dr. Napoleão Esberard de Macêdo
Beltrão

AREIA – PB

2011

FABÍOLA VANESSA DE FRANÇA SILVA

**METABOLISMO E CRESCIMENTO DE *Ricinus communis* L.
SOB TEMPERATURA SUPRAÓTIMA E ELEVADO NÍVEL DE CO₂**

Aprovada em: 24 de março de 2011.

Banca Examinadora

Profº Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão
Orientador – EMBRAPA Algodão / UFPB

Profº Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque
Examinador – CCA / UFPB

Profº Dr. José Fideles Filho
Examinador – EMEPA / UEPB

AREIA – PB

2011

*Este trabalho é resultado da soma de
bênçãos que derramaste em minha vida nos
últimos dois anos...*

A Ti, Pai Celeste,

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial por me ensinar o valor do conhecimento em qualquer uma de suas faces, por me conceder oportunidades ímpares de crescimento em todos os aspectos de minha vida mortal, por demonstrar Seu amor infinito a cada instante.

A meu pai terreno, Washington (*in memoriam*) que, tendo me deixado o legado do estudo como um de seus maiores ensinamentos, pôde alegrar-se, pouco antes de partir, ao me ver inserida no mestrado. Painho, conseguimos!

A minha mãe, Goretti, por seu apoio e orações. Mainha, esta conquista também é sua!

A meu irmão, Washington Júnior, pela compreensão durante meus longos momentos reclusão... À minha sobrinha, Ana Letícia, cujo brilho nos olhos e sorriso resplandecente me inspira a ter esperança no futuro e a ser feliz agora, com coisas simples...

Às amigas de graduação Maria Isabel de Lima Silva e Rachel Souza Melo pelo companheirismo, altruísmo, amizade e estímulo, por palavras e por exemplo, desde que nos conhecemos!

À Rosângela pela amizade de sempre, incentivo, companhia e exemplo!

À Francynês da C. Oliveira Macêdo pelo exemplo de garra na busca dos objetivos, por mais impossíveis que possam parecer!

A Paulo Sérgio Lopes Lessa pela amizade longínqua, porém sempre presente. Pelos ouvidos, conselhos e empatia sinceros.

À Emmanuelle Xavier, e seu pai, pela companhia no processo de seleção.

Aos colegas de curso Ana, Claudete, Rilvania, José, Flávio, Roberta, Janaína, Kedma, Erbs, Tony, Leandra, Pablo e Severino pelos muitos momentos simples, porém importantes, que vivemos nesta jornada.

Ao Profº Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão pelas inúmeras oportunidades de crescimento proporcionadas, pela orientação acadêmica paternal que, ao mesmo tempo, continuou me ensinando autosuficiência.

À Maria Isaura Pereira de Oliveira pela acolhida, amizade, aprendizado e companheirismo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro na concessão bolsa de pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Embrapa Algodão pela oportunidade de estágio e disponibilidade de suas instalações para execução do trabalho de dissertação.

Ao Dr. Valdinei Sofiatti pelo acompanhamento na pesquisa e préstimo na solução de problemas que porventura aconteceram.

A José Félix de Brito Neto pela companhia no trabalho, amizade, altruísmo e contribuições ímpares.

Aos estagiários que foram mais que colegas de trabalho: Marlon, Vivianny, Karol, Franklin, James, Silvia, João Paulo e Pollyne. Formamos uma equipe de entrosamento ímpar!

A Eduardo, Bruno, Henrique e Neto, os quais, apesar de passarem rapidamente em nosso laboratório, deixaram sua significativa contribuição.

A Leandro Silva do Vale pelos momentos de loucura e seriedade, pela contribuição na execução braçal e intelectual deste projeto.

À Thaíse Dantas de Almeida que fez diferença para que o sucesso do experimento acontecesse.

À Joseni Ferreira da Silva por sua amizade permanente e amor incondicional.

A José Jorge Gomes da Silva pelas gotas de suor derramadas dentro do Fitotron. Um homem de grande integridade moral!

À Bruna, Marcílio e Rui pelo apoio técnico na pesquisa.

À Maria Rocha, cuja atitude alavancou mudanças significativamente positivas dentro do Laboratório de Fisiologia. Pela amizade e altruísmo, sempre!

À Dr^a Liziane Maria de Lima pelos esclarecimentos valiosos!

À Universidade Federal da Paraíba e ao corpo docente do Programa de Pós Graduação em Agronomia pela contribuição para o alcance desta conquista acadêmica.

À Eliane, secretária sempre prestimosa ao atender nossas solicitações.

Ao Profº. Ademar Pereira de Oliveira pela solicitude e humildade sempre presente.

Ao Profº Manoel Bandeira pela oportunidade de estágio docência e tantas ocasiões de aprendizado durante nossas conversas!

Ao Profº José Fideles Filho por aceitar o convite para compor a banca de avaliação.

À Jaqueline de Almeida Ribeiro por magnificar seu chamado, sendo instrumento para o bem ao seguir orientações do Espírito Santo para ajudar-me em momentos cruciais...

A Adilson Silva de Farias, o irmão que a vida nos permite escolher, pela ajuda no abstract. Presente sempre!

A Ataandson Paes pelos conselhos iniciais e apoio durante a jornada.

A Diana Bezerra e Rosita Coelho pela torcida e acompanhamento ao longo do caminho.

Aos alunos do S&I cuja companhia fez diferença enquanto trilhava esse caminho.

A Antonia, Verônica, Ismênia, Socorro Sales, Nívea e tantos mais da Ala Centenário que intercederam com suas orações, fonte de força para mim.

A Bira por compartilhar suas habilidades automotivas num momento tão importante!

Por fim, aos demais amigos queridos que sabem que fazem diferença em minha jornada mortal, contribuindo sempre para que me torne uma pessoa melhor!

SILVA, F. V. F. de. Metabolismo e crescimento de *Ricinus Communis* L. sob temperatura supraótima e elevado nível de CO₂. Areia – PB, 2011. 78p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Agronomia). Área de concentração: Agricultura Tropical. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. favanessa@ig.com.br.

RESUMO

A mamoneira (*Ricinus communis* L. - *Euphorbiaceae*) é uma oleaginosa de metabolismo C₃, rústica, resistente à seca, de provável origem na Etiópia, cultivada numa ampla latitude por apresentar boa capacidade adaptativa. A aplicação comercial da cultura é vasta na agropecuária e indústria, sendo a torta e o óleo seus principais produtos. Diante as mudanças ambientais em curso, agravadas pelo aumento do consumo de combustíveis fósseis, muitos impactos bioquímicos e fisiológicos podem interferir na produtividade de culturas importantes, como a mamona. Assim, objetivou-se avaliar impactos bioquímicos e fisiológicos na mamoneira em resposta à alta temperatura e incremento de CO₂. O experimento foi conduzido em Fitotron localizado na Embrapa Algodão, no ano de 2010. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos, em combinação fatorial de duas temperaturas (30 e 37°C) e dois níveis de CO₂ (400 e 800 ppm), com quatro repetições, obtidas em cinco coletas ao longo do ciclo, totalizando 80 unidades amostrais. Procedeu-se à análise de crescimento, quantificação da taxa fotossintética, transpiratória, condutância estomática, extravasamento de eletrólitos, acúmulo de solutos no simplasma, pigmentos fotossintetizantes e carboidratos solúveis. O aumento da concentração de CO₂ atmosférico e a elevação da temperatura beneficiou a cultivar nas fases iniciais do crescimento, contudo, à medida que o ciclo fenológico avançou ambos os fatores, de maneira independente na maioria das variáveis, atuou negativamente na bioquímica e fisiologia da mamoneira, que apresentou redução na taxa de crescimento, queda na fotossíntese líquida, na transpiração, na condutância estomática e nos teores de clorofila *a*, *b*, e total; acúmulo de solutos no simplasma, reduzindo o potencial osmótico, e de carboidratos solúveis nas raízes.

Palavras-chave: mamoneira, mudanças climáticas, metabolismo.

SILVA, F. V. F. de. METABOLISM AND GROWTH OF *Ricinus communis* L. UNDER TEMPERATURE ABOVE OPTIMUM AND HIGH CO₂ LEVEL. Areia - PB, 2011. 78p. Dissertation (Post Graduation Program in Agronomy). Area of concentration: Tropical Agriculture. Federal University of Paraíba - UFPB. favanessa@ig.com.br.

ABSTRACT

Castor bean (*Ricinus communis* L. - *Euphorbiaceae*) is an oilseed metabolism of C₃, rustic, resistant to drought, probably originated in Ethiopia, cultivated in a wide latitude because it has good adaptative capacity. The commercial application of culture is broad in agriculture and industry, being the oil and intake its main products. Given the environmental changes underway, aggravated by increased consumption of fossil fuels, many biochemical and physiological impacts may affect the productivity of important crops, such as castor bean. So, the main goal of this project was to evaluate biochemical and physiological impacts on castor bean in response to high temperature and increased CO₂. The experiment was conducted in Phytotron located at Embrapa Algodão, in 2010. We adopted a experiment completely randomized experimental design with four treatments in a factorial combination of two temperatures (30 and 37°C) and two levels of CO₂ (400 and 800 ppm), with four replicates, obtained in five surveys over the cycle, comprising 80 sample units. The growth analysis proceeded as well as the quantification of photosynthetic rate, transpiration, stomatal conductance, electrolyte leakage, accumulation of solutes in symplasm, photosynthetic pigments and soluble carbohydrates. The increase concentration of atmospheric CO₂ and temperature elevation benefited to cultivate in the early stages of growth, however, as the phenological cycle progressed both factors, independently of the majority of variables, they acted negatively on the biochemistry and physiology of the castor bean, which showed a reduction in growth rate, decrease in net photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and levels of chlorophyll *a*, *b*, and total; accumulation of solutes in simplasma, reducing the osmotic potential, and soluble carbohydrates in the roots.

Keywords: castor bean, climate change, metabolism.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	xii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
1.0. INTRODUÇÃO	16
2.0. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1. MAMONA (<i>Ricinus communis</i> L.)	18
2.2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS	22
2.2.1. Aumento da Concentração de CO ₂ Atmosférico	22
2.2.1.1. Consequências do Aumento da Concentração de CO ₂ Atmosférico	24
2.2.2. Aumento da Temperatura	26
2.2.2.1. A Temperatura e a Fisiologia Vegetal	28
2.2.3. Interação dos Fatores Temperatura e CO ₂	29
3.0 METODOLOGIA	31
3.1. Condições Experimentais	31
3.2. Análise de Crescimento	34
3.3. Estudo de Trocas Gasosas	34
3.4. Disruptura da Membrana Celular	35
3.5. Teor de Pigmentos Fotossintetizantes	36
3.6. Quantificação de Carboidratos Solúveis	37
3.7. Delineamento Experimental Estatístico	37
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. Ciclo Fenológico	39

4.2. Crescimento	41
4.3. Trocas Gasosas	47
4.3.1. Fotossíntese	47
4.3.2. Transpiração	50
4.3.3. Condutância Estomática	52
4.4. Disruptura da Membrana Celular	53
4.5. Concentração de Solutos no Simplasma	55
4.6. Teor de Pigmentos Fotossintetizantes	56
4.7. Teor de Carboidratos Solúveis	62
5.0. CONCLUSÕES	63
5.1 Geral	63
5.2. Específicas	63
6.0. REFERÊNCIAS	65
7.0. ANEXOS	75
ANEXO A - Resumos das Análises de Variância (Quadrados Médios) para as variáveis: diâmetro do caule, altura do caule, número de folhas, potencial osmótico, extravasamento de eletrólitos, carboidratos, em mamoneira (<i>R. communis</i> L.). Campina Grande, 2010.	76
ANEXO B - Resumos das Análises de Variância (Quadrados Médios) para a variável área foliar (AF) e área foliar específica (AFE) em mamoneira (<i>R. communis</i> L.). Campina Grande, 2010.	77
ANEXO C - Resumos das Análises de Variância (Quadrados Médios) para as variáveis: fotossíntese, transpiração, condutância estomática, teor de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> , carotenóides e clorofila total, em mamoneira (<i>R. communis</i> L.). Campina Grande, 2010.	78

LISTA DE ABREVIATURAS

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CO₂ – dióxido de carbono

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

GEE – Gases de Efeito Estufa

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

CNPA – Centro Nacional de Pesquisa do Algodão

ppm – partes por milhão

RUBISCO – ribulose-bisfosfato carboxilase oxigenase

BTU – *British Thermal Unit* (Unidade Térmica Britânica)

UR – Umidade Relativa

DAP – dias após o plantio

AFE – área foliar específica

IRGA – *Infra Red Gas Analyzer* (Analisador de Gás Infravermelho)

DMSO – dimetilsulfóxido

rpm – rotações por minuto

PSII – fotossistema II

ABA – ácido abscísico

ROs – radicais de oxigênio

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias para a variável área foliar específica (AFE) da mamoneira, cv. BRS Energia, em função da temperatura e concentração de CO ₂ . Campina Grande – PB, 2010.	45
Tabela 2. Médias para as variáveis: diâmetro do caule e número de folhas em mamoneira, cv. BRS Energia, sob alta temperatura e elevado nível de CO ₂ , em Fitotron. Campina Grande – PB, 2010.	46
Tabela 3. Médias para as variáveis teor de clorofila <i>a,b</i> e clorofila total em folhas de mamoneira submetidas à alta temperatura e elevado nível de CO ₂ . Campina, Grande – PB, 2010.	57

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fitotrons localizados no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Embrapa Algodão. Foto: Isaura Oliveira, Campina Grande – PB, 2010. ____	31
Figura 2. Interior do Fitotron. A – fonte luminosa. B – Sistema de controle da temperatura e umidade. Foto: Fabíola Silva, Campina Grande – PB, 2010. _____	32
Figura 3. Disposição das unidades experimentais no interior do Fitotron. A – vasos sem saco plástico. B – vasos com saco plástico. Foto: Fabíola Silva, Campina Grande – PB, 2010. _____	33
Figura 4. IRGA (<i>Infra Red Gas Analyzer</i>). _____	35
Figura 5. Disposição das placas de Petri contendo discos foliares para mensuração do extravasamento de eletrólitos. Foto: Fabíola Silva, Campina Grande – PB, 2010. _____	36
Figura 6. Germinação de mamoneira, cv. BRS Energia, cultivada em alta temperatura e elevada concentração de CO ₂ . Campina Grande - PB, 2010. _____	39
Figura 7. Lançamento do primeiro cacho em mamoneira, cv. BRS Energia, cultivada em alta temperatura e elevada concentração de CO ₂ . Campina Grande - PB, 2010. _____	40
Figura 8. Altura da mamoneira (<i>R. communis</i>), cv. BRS Energia, em resposta a diferentes concentrações de CO ₂ , em Fitotron. Campina Grande – PB, 2010. _____	42
Figura 9. Área foliar da mamoneira (<i>R. communis</i>), cv. BRS Energia, em resposta à concentração de CO ₂ . Campina Grande – PB, 2010. _____	44
Figura 10. Deiscência foliar de mamoneira (<i>R. communis</i> L.), cv. BRS Energia, ao longo das coletas destrutivas. A – 20 DAE; B – 40 DAE; C – 60 DAE; D – 80 DAE, e E – 100 DAE. _____	45

Figura 11. Influência da alta temperatura no surgimento de novas folhas em mamoneira, cv. BRS Energia. Campina Grande – PB, 2010. ____	47
Figura 12. Taxa de fotossíntese líquida em folhas de mamoneira (<i>R. communis</i> L.), cv. BRS Energia, em função da temperatura. Campina Grande – PB, 2010. _____	48
Figura 13. Efeito do aumento da concentração de CO ₂ na taxa de fotossíntese líquida de mamoneira (<i>R. communis</i> L.), cv. BRS Energia. Campina Grande – PB, 2010. _____	49
Figura 14. Taxa de transpiração em folhas de mamoneira (<i>R. communis</i> L.), cv. BRS Energia, em função da temperatura. Campina Grande – PB, 2010. _____	51
Figura 15. Taxa de transpiração em folhas de mamoneira (<i>R. communis</i> L.), cv. BRS Energia, em função da concentração de CO ₂ . Campina Grande – PB, 2010. _____	51
Figura 16. Resposta da condutância estomática em folhas de mamoneira (<i>R. communis</i> L.), cv. BRS Energia, em função da temperatura. Campina Grande – PB, 2010. _____	52
Figura 17. Resposta da condutância estomática em folhas de mamoneira (<i>R. communis</i> L.), cv. BRS Energia, em função da concentração de CO ₂ . Campina Grande – PB, 2010. _____	53
Figura 18. Extravasamento de eletrólitos em folhas de mamoneira (<i>R. communis</i> L.), cv. BRS Energia, em resposta à concentração de CO ₂ . Campina Grande – PB, 2010. _____	54
Figura 19. Concentração de solutos no simplasma de células foliares de mamoneira (<i>R. communis</i> L.). cv. BRS Energia, em função da concentração de CO ₂ . Campina Grande – PB, 2010. _____	56
Figura 20. Teor de clorofila <i>a</i> em folha de mamoneira (<i>R. communis</i> L.) em resposta ao aumento da temperatura. Campina Grande – PB, 2010. ____	58
Figura 21. Teor de clorofila <i>a</i> em folha de mamoneira (<i>R. communis</i> L.) em resposta ao incremento de CO ₂ . Campina Grande – PB, 2010. _____	58

Figura 22. Teor de clorofila *b* em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta ao aumento da temperatura. Campina Grande – PB, 2010. ____ 59

Figura 23. Teor de clorofila *b* em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta ao incremento de CO₂ atmosférico. Campina Grande – PB, 2010. 59

Figura 24. Teor de clorofila total em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta a temperatura. Campina Grande – PB, 2010. 61

Figura 25. Teor de clorofila total em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta ao incremento de CO₂. Campina Grande – PB, 2010. ____ 61

Figura 26. Teor de carboidratos em raiz de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta à concentração de CO₂. Campina Grande – PB, 2010. 62

1.0. INTRODUÇÃO

A mamoneira (*Ricinus communis* L.), também conhecida como carrapateira, palma-crísti ou enxerida (BELTRÃO e SILVA, 1999) é uma planta arbustiva da família *Euphorbiaceae*, de clima tropical, de origem africana, rústica e resistente à seca, características que promovem sua boa adaptabilidade ao semiárido brasileiro (BELTRÃO *et al.*, 2006; PACHECO, 2008).

Consiste numa cultura tradicional na Índia e China, os maiores produtores mundiais na atualidade, seguidos do Brasil, que tem possibilidade de ampliar sua participação neste mercado por oferecer áreas aptas à aplicação das modernas técnicas de cultivo e por apresentar um atualizado parque industrial de extração de óleo (SANTOS e KOURI, 2006; SANTOS *et al.*, 2007).

A mamoneira é encontrada em praticamente todos os estados brasileiros, porém o estado da Bahia, que a cultiva há mais de um século, detém aproximadamente 90% da produção nacional. É uma cultura com baixo custo de produção, de fácil manejo e alto rendimento energético, sendo fonte de renda na agricultura familiar (CONAB, 2010; BELTRÃO *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2007).

Por produzir um óleo com a característica singular de solubilidade em álcool, a aplicabilidade do mesmo é ampla, desde na indústria têxtil e cosmética, à produção de biodiesel, combustível renovável de origem vegetal que ganhou importância com a força das campanhas ambientais no início do século XXI, devido ao agravamento das mudanças climáticas (WEISS, 1983; SANTOS e KOURI, 2006; BELTRÃO *et al.*, 2007).

O incremento de CO₂ atmosférico, fator ao qual é atribuída causa dos cenários climáticos atuais, teve início na metade do século XVIII, com o advento da Era Industrial. Desde então, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 27%, sendo metade deste número contabilizado nos últimos 30 anos (HALL, 1989; IPCC, 2007). As atividades humanas relacionadas à queima de combustíveis fósseis, particularmente, tem provocado um aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE), especialmente CO₂ (dióxido de carbono),

contribuindo para o aumento progressivo da temperatura global, resultando em graves alterações ambientais, e sabe-se que todos os outros fatores climáticos estão direta ou indiretamente relacionados com a temperatura (MARTINS, 1994). Sendo os fatores climáticos uma das variáveis não controláveis de forte influência na produção agrícola, que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas de diferentes formas e em diversas fases do ciclo da cultura (BELTRÃO e OLIVEIRA, 2008), o impacto desse incremento de CO₂ atmosférico na produtividade de culturas importantes, como a mamona, é óbvia. Tamanha alteração na composição atmosférica, a curto prazo, traz efeitos benéficos na produtividade, já que ocorre aumento da taxa fotossintética e queda na transpiração. Entretanto, a longo prazo, o aumento da disponibilidade de CO₂ pode tornar-se tóxico para as plantas, alterando bioquimicamente em especial aquelas de metabolismo fotossintético C₃, como a mamona, de forma irreversível.

Assim, diante das mudanças ambientais previstas, a partir de um limite de tolerância dos componentes atmosféricos, particularmente o CO₂ e temperatura, é possível que impactos fisiológicos incidam mais fortemente sobre a produtividade e o manejo de oleaginosas C₃ do que em plantas C₄. Todavia poucos estudos foram realizados sobre os efeitos de estresses ambientais de temperatura e CO₂ para este grupo vegetal. Portanto, realizar estudos avaliando indicadores fisiológicos e bioquímicos de *R. communis* L. ao simular condições ambientais cuja previsão é de estabelecimento breve, contribuirá para um manejo adequado da cultura, servindo de base para a ampliação do aproveitamento das características genéticas das novas cultivares de mamona como, por exemplo, a cv. BRS-Energia, genótipo utilizado neste estudo.

2.0. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. MAMONA (*Ricinus communis* L.)

A mamoneira (*Ricinus communis* L.), uma das oleaginosas tropicais mais importantes da atualidade, pertencente à família *Euphorbiaceae*, tem origem creditada ao leste africano, mas especificamente na Etiópia, apesar de haver relatos de seu cultivo na Ásia em épocas tão remotas quanto os registros de sua ocorrência na África (PACHECO, 2008; BELTRÃO *et al.*, 2007; BELTRÃO *et al.*, 2006).

A *R. communis* chegou ao Brasil no primeiro século da colonização portuguesa, pelas mãos dos escravos africanos, sendo o óleo útil para iluminação e lubrificação de engrenagens e mancais dos engenhos de cana de açúcar e carroças (PACHECO, 2008; SANTOS *et al.*, 2007).

Consiste numa cultura caracteristicamente tropical equatorial, explorada comercialmente entre as latitudes 40°N e 52°S (BELTRÃO *et al.*, 2007; PACHECO, 2008; DRUMOND *et al.*, 2008). Entretanto, a facilidade de propagação e adaptação, características denominadas por Pinheiro *et al.* (2006) de plasticidade, propiciou seu cultivo nas mais variadas regiões do planeta, mesmo no norte dos Estados Unidos da América e Escócia (SILVA, 1981, PACHECO, 2008; BIODIESELBR, 2011).

Na esfera mundial, o Brasil ocupa a terceira posição na produção de mamona em baga (grãos) e de óleo bruto para exportação, ficando atrás da Índia, o principal produtor desde 1992, e China (SANTOS *et al.*, 2007). O clima tropical predominante no Brasil facilitou a disseminação da cultura. O Brasil alcançou o primeiro destaque como produtor de mamona em 1940, representando 60% da produção mundial. Hoje é possível encontrar a mamoneira cultivada em quase toda extensão territorial, apesar da produção atual concentrar-se no Nordeste, sendo a Bahia detentora de aproximadamente 90% da produção nacional (BELTRÃO *et al.*, 2006; PACHECO, 2008; CONAB, 2010).

A cultura é uma boa opção para a agricultura familiar pelo baixo custo de produção, fácil manejo e alto rendimento energético, além de servir como

alternativa de trabalho e renda quando o clima adverso promove perda total em outras culturas, tais como milho (*Zea mays* L.) e feijão de arranca (*Phaseolus vulgaris* L.) (BELTRÃO e OLIVEIRA, 2009; AZEVEDO *et al.*, 2001).

Sob o ponto de vista agropecuário e industrial, toda a planta da mamoneira pode ser utilizada, destacando-se como seus principais produtos o óleo e a torta. Esta pode ser usada na alimentação animal e como eficiente adubo orgânico, principalmente na recuperação de terras esgotadas, por apresentar-se rica em minerais importantes como cálcio, fósforo, potássio e, principalmente, nitrogênio (BELTRÃO *et al.*, 2003a; PACHECO, 2008; BIODIESELBR, 2011).

O óleo, singular na natureza por ser o único solúvel em álcool pela presença do ácido graxo ricinoléico ($C_{17}H_{32}OH.COOH$) (WEISS, 1983; AZEVEDO e LIMA, 2001), apresenta uma ampla aplicabilidade, tanto do ponto de vista energético quanto não energético. Seu uso para produção de biodiesel foi o que alavancou incentivos para incremento da produção, mas o polímero tem mais de 700 aplicações, entre elas: fabricação de couro sintético, fios para confecção de tecido, fio de nylon 11, produção de vidro à prova de bala, próteses ósseas, lentes de contato, plásticos de elevada resistência, lubrificante na aeronáutica, fabricação de tintas e isolantes, e base na indústria de cosméticos, drogas e farmacêuticos (AZEVEDO e LIMA, 2001; BELTRÃO *et al.*, 2007; SANTOS e KOURI, 2006; COSTA NETO *et al.*, 2000). Isto justifica a afirmativa de Beltrão *et al.* (2007) em qualificar o óleo de mamona como “eventual substituto do petróleo”.

O teor de óleo e proteína na semente (amêndoa) é em torno de 65% e 18%, respectivamente (STREET e OPIK, 1974), entretanto a concentração de óleo é proporcional à soma do calor recebido pela planta em todo o seu ciclo vegetativo; porém, aos 40°C, o teor de óleo nas sementes é reduzido (CANÉCHHIO FILHO, 1969 *apud* PACHECO, 2008; BELTRÃO e SILVA, 1999). A falta de umidade no solo resulta em sementes com pouco peso e baixo teor de óleo (PACHECO, 2008). As boas condições de clima e solo são evidenciadas no crescimento da planta em altura, favorecendo a ramificação em cujos terminais são emitidos os racemos (SAVY FILHO, 1989). O surgimento de flores masculinas é favorecido por altas temperaturas, pela idade da planta e pelo fotoperíodo (WEISS, 1983); a boa dispersão do pólen

requer temperatura ambiental entre 26°C e 29°C, e umidade relativa do ar de 60%, podendo variar de acordo com a cultivar (PACHECO, 2008). A interação entre temperatura e intensidade de luz pode afetar o tamanho da semente e sua composição. Altas temperaturas (40°C) reduzem o tempo entre a semeadura e a germinação, provocam aborto das flores e reversão sexual das flores femininas em masculinas (BELTRÃO e SILVA, 1999; PACHECO, 2008). Diante do exposto fica visível que a mamoneira, por ser uma planta essencialmente tropical, tolerante à seca e exigente em calor e luminosidade, tem sua produção e rendimento dependentes, mais do que qualquer outra cultura, das condições ambientais (PACHECO, 2008). Os limites térmicos para germinação são mínimo de 14°C e máximo de 36°C, sendo que a duração do período de emergência à maturidade é altamente influenciada pelo ambiente (WEISS, 1983), requerendo temperaturas ideais de crescimento na faixa de 20°C a 30°C, com temperatura ótima 28°C. Temperaturas abaixo de 16°C reduzem significativamente seu metabolismo, podendo paralisar seu crescimento (PACHECO, 2008; BELTRÃO *et al.*, 2007).

Demanda elevada insolação, requerendo entre 2000 e 3800 unidades de graus-dias e umidade relativa do ar menor que 60% durante a maior parte do seu ciclo. Prima por solos de textura média, não muito argilosos, campos planos ou de relevo suavemente ondulado, sem risco de encharcamento ou inundação, além de não suportar solos muito salinos (BELTRÃO *et al.*, 2003a).

As grandes altitudes devem ser evitadas. Recomenda-se o cultivo com altitude na faixa de 300m a 1500m acima do nível do mar (WEISS, 1983). A mamoneira requer chuvas regulares na fase vegetativa e períodos secos na fase de maturação e colheita (PACHECO, 2008). Pluviosidades entre 600 e 700 mm proporcionam rendimentos superiores a 1,5 mil Kg ha⁻¹ (WEISS, 1983).

R. communis é uma espécie de metabolismo C₃, considerado ineficiente do ponto de vista energético (BELTRÃO *et al.*, 2007). A taxa assimilatória líquida é baixa, de 6,5 a 6,9 g m⁻² dia⁻¹, a taxa de respiração é elevada e a taxa fotossintética normal é de 18 a 27 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹, em atmosfera de 300 ppm de CO₂ (AZEVEDO e LIMA, 2001). O substrato utilizado é o glicolato e todo o processo envolve a participação sequencial efetiva de três organelas: cloroplasto, mitocôndria e peroxissomos, que representa perda de CO₂, o qual

poderia ser incorporado e utilizado na formação de compostos orgânicos (CONN e STUMPF, 1980 e LARCHER, 2000). Apesar de Beltrão *et al.* (2003b) terem verificado que, mesmo apresentando metabolismo fotossintético C_3 , a mamoneira tem uma boa assimilação de carbono.

Enfim, a mamoneira é uma planta que apresenta particularidades no seu metabolismo, produzindo diversos compostos: os de natureza protéica, denominados metabólitos secundários, como a ricina, presente apenas no endosperma das sementes; o complexo CB-1 A, alergênico; e o alcalóide ricinina, presente em todas as partes da planta (FREIRE, 2001).

Estruturalmente, a mamoneira apresenta grandes variações, especialmente quando se observa as suas diversas cultivares. A escolha da cultivar está diretamente ligada a uma boa produção de sementes, já que o uso de sementes melhoradas pode elevar a produção em 30%, pelo menos (PACHECO, 2008). A EMBRAPA Algodão desenvolveu linhagens que superam em produtividade, e diversas outras características agronômicas, as melhores cultivares distribuídas no Brasil até então. São elas a CNPA M.SM₄ e CNPA M.90-210, que foram lançadas como novos cultivares em 1998 e em 1999, como BRS 149 – Nordestina e BRS 188 – Paraguaçu, respectivamente (PACHECO, 2008; CARTAXO *et al.*, 2004). Em 2007 foi lançada a cultivar BRS Energia, de porte baixo, precoce, ciclo de 120 dias e adaptada a diferentes ecossistemas onde as precipitações pluviais são de pelo menos 500 mm, com produtividade média de 1800 kg/ha em regime sequeiro, e 48% de teor de óleo na semente indeiscente (MILANI, 2010). Todas essas características, somadas ao fato da BRS Energia ter sido concebida para ser matéria-prima de energia renovável no semi-árido nordestino (MILANI, 2007) justifica a escolha desta cultivar para pesquisa da fisiologia da espécie diante das condições ambientais que se prevêem estabelecimento breve como resultado do aumento da temperatura e níveis de CO₂, em função do aquecimento global.

2.2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A produção agrícola depende fundamentalmente de quatro fatores: germoplasma (vegetal ou animal), solo, clima e o homem. Compreender cada um deles e suas inter-relações são premissas básicas para avanços na produção agropecuária, quando se recorre ao uso de germoplasma eficiente, aproveitamento racional da capacidade de uso do solo e das condições climáticas e, principalmente, à adequação de tecnologias de apoio e meios de produção disponibilizadas pelo homem (ORTOLANI e TARIFA, 1978).

Dentre todas as atividades econômicas, a agricultura é a que apresenta maior dependência das condições climáticas, podendo afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas sob diferentes formas e em diversas fases do ciclo da cultura, sendo o fator responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção (ORTOLANI e TARIFA, 1978; BELTRÃO e OLIVEIRA, 2008).

A importância da interação clima-produção agrícola é milenar e, devido às mudanças climáticas atuais, tem gerado preocupação a nível mundial. Apesar dos avanços tecnológicos, ainda sofremos com seus impactos negativos sobre a produtividade, sendo bastante complexa a relação fatores climáticos e produção agrícola (ORTOLANI e TARIFA, 1978). Sendo as plantas holocenóticas – capacidade vegetal de condicionamento simultâneo e coletivo a todos os fatores do meio, em qualquer tempo específico – portanto, sujeitas às mudanças constantes do meio, o qual é dinâmico, há um limite de tolerância das plantas para cada fator ambiental como, por exemplo, a temperatura (MOTA, 1989).

2.2.1. Aumento da Concentração de CO₂ Atmosférico

Tem sido observado que a partir da segunda metade do século XVIII tem ocorrido um incremento de CO₂ na atmosfera, fato que ganhou velocidade na segunda metade do século XX. Atualmente tem sido verificados incremento anual de 2 ppm de CO₂ na atmosfera (AMORIM *et al.*, 2008; TAIZ e ZEIGER,

2009). Segundo o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) (IPCC, 2007), nos últimos 200 anos, a concentração de CO₂ na atmosfera já aumentou 27%, sendo metade deste número contabilizado nos últimos 30 anos. Segundo Furlan Jr. *et al.* (2006), a emissão total de dióxido de carbono na atmosfera global foi da ordem de sete bilhões de toneladas; considerando que 1t de carbono equivale a 3,7t de CO₂ e 1 ppm de CO₂ atmosférico a 2,1 bilhões de toneladas de CO₂, verifica-se que a humanidade encontra-se diante de um sério problema.

O advento da Era Industrial e a enorme quantidade de material destruído nas guerras reduziram fortemente as reservas de carbono na biomassa e no solo, carregando a atmosfera com uma quantidade adicional de CO₂ e metano (LARCHER, 2000). No mesmo período, vastas regiões florestais da América do Norte foram convertidas em terras aráveis pelos imigrantes e, em todas as partes do planeta regiões ainda não povoadas foram ocupadas (LARCHER, 2000). Fatores como queima de combustíveis fósseis, mudança de uso e cobertura do solo e crescimento populacional intensificam o efeito estufa, colocando em risco a biodiversidade do planeta (BUCKERIDGE *et al.*, 2007). As mudanças climáticas podem ter efeito tanto localmente, modificando o microclima, quanto regionalmente, aumentando o aquecimento da superfície e até mesmo diminuindo os níveis de precipitação (MALHI e PHILLIPS, 2004).

O incremento de gases atmosféricos exerce influência no clima (LARCHER, 2000) e está diretamente relacionado aos aumentos de médias de temperatura em diversas regiões da Terra (GITAY *et al.*, 2002). Gases de Efeito Estufa (GEE) como CO₂, metano, ozônio, óxido de dinitrogênio (N₂O), além de vapor de água, permitem a entrada de radiação de ondas curtas na atmosfera, absorvendo aproximadamente 90% da energia da radiação infravermelha proveniente da Terra, irradiada de volta ao espaço, contribuindo para o aquecimento da atmosfera. É verdade que o efeito estufa natural proporciona a temperatura necessária para o suporte de vida na Terra, entretanto a adição de gases industriais aos gases atmosféricos originais tem contribuído para o aumento da temperatura (LARCHER, 2000).

O incremento atmosférico de metano e óxido nitroso ocorre principalmente devido às atividades da agricultura (ÁVILA, 2007). Entretanto, o CO₂ é o maior contribuinte para o agravamento do efeito estufa, e está

presente na atmosfera em concentrações bem maiores do que outros GEE, consequência principalmente da queima de combustíveis fósseis (BUCKERIDGE *et al.*, 2007; COX *et al.*, 2000). Por ser um gás-traço capaz de absorver radiação infravermelha, pode alterar padrões de vegetação na Terra, resultando em alteração no balanço global de carbono (LARCHER, 2000). Desde o início da Revolução Industrial, a concentração de CO₂ vem aumentando – cerca de 280 ppm na era pré-industrial, acima de 368 ppm em 2000 (BUCKERIDGE *et al.*, 2007), e mais de 380 ppm atualmente – e as previsões são que, ainda neste século, atinja o dobro da concentração atual (Alcamo *et al.*, 1996), mais exatamente entre 600-1000 $\mu\text{mol L}^{-1}$, segundo Cox *et al.* (2000), cuja unidade é equivalente em ppm, ou seja, 600-1000 ppm.

2.2.1.1. Consequências do Aumento da Concentração de CO₂ Atmosférico

Sob influência dos fatores climáticos, os vegetais apresentam dois padrões de resposta de trocas de CO₂: 1) o aumento da concentração de CO₂ ou da radiação solar promove a fotossíntese até um limiar no qual nenhum aumento considerável é realizado e acima dele uma alta dose não causa efeito prejudicial imediato; 2) sensibilidade a uma sub ou supradose de um fator externo, por exemplo, a reação característica da fotossíntese a diferentes temperaturas, formando uma curva de região ótima, refletindo a flexibilidade ecológica da espécie (LARCHER, 2000).

Diante do exposto, um aumento na concentração de CO₂ atmosférico, somado às outras mudanças climáticas, pode afetar grandemente a produtividade na agricultura (YOON *et al.*, 2009). As plantas C₃, especificamente, são as primeiras a sofrerem seu impacto, devido ao efeito estimulatório na fotossíntese e inibitório na fotorrespiração, por diminuir a atividade oxigenase da RUBISCO (LAWLOR E MITCHEL, 2000; AIDAR *et al.*, 2002; GRIFFIN e SEEMANN, 1996), resultando em aumento significativo no crescimento e na produção de biomassa (IDSO E KIMBALL, 1992). Experimentos controlados tem evidenciado respostas a nível de folha

associadas a aumento da atividade carboxilase da RUBISCO (AIDAR *et al.*, 2002; SAGE, 2002). Ajustes fisiológicos específicos são necessários para suprir esta demanda, como mudanças na membrana do tilacóide, alteração na respiração mitocondrial e redução da transcrição de genes para RUBISCO ativase e anidrase carbônica (SAGE, 2002).

Larcher (2000) afirma que é possível, entretanto, que esses ajustes fisiológicos, e porque não alterações morfológicas – como aumento da área foliar específica – possam, a longo prazo, suprimir o aumento inicial da produtividade. Acresce ainda que são esperadas alterações na competição entre as espécies C_3 e C_4 , e entre as herbáceas de rápido crescimento, herbáceas perenes e plantas lenhosas. Por outro lado, destaca que a produtividade do plâncton marinho com o mecanismo de concentração de CO_2 , provavelmente não se alteraria de forma significativa. Dessa maneira, ainda não é possível prever que os ecossistemas naturais, com suas múltiplas interações, aumentem consideravelmente a produção de biomassa em resposta ao aumento gradual da concentração de CO_2 , pois é provável que os mecanismos de controle exerçam funções compensatórias (LARCHER, 2000), sendo possível afirmar apenas que esse aumento de produtividade é inicial.

Um outro efeito importante é a redução da abertura ostiolar a fim de reduzir a perda de água por evaporação; assim, as plantas sob estresse hídrico são capazes de manter a absorção de CO_2 por mais tempo (LARCHER, 2000; SAGE, 2002; TAIZ e ZEIGER, 2009). Porém, um excesso de disponibilidade de CO_2 leva à redução da densidade estomática (LARCHER, 2000).

Outros efeitos esperados para o aumento da disponibilidade de CO_2 são o aumento da espessura do mesófilo, redução da área foliar, aumento da produção de matéria seca, da eficiência do uso da água, da proporção carbono/nitrogênio e, em plantas C_4 , maior transpiração; a respiração no escuro diminui (LARCHER, 2000). As consequências desses efeitos podem ser um aumento na taxa de crescimento, que pode não ocorrer caso a planta apresente aclimação fotossintética, caracterizada por uma redução no investimento em proteínas relacionadas ao aparato fotossintético, o qual se acredita ser modulado pelos níveis foliares de carboidratos em consonância com sinais hormonais das raízes, em especial as citocinas, cuja produção acontece em tais órgãos e são promotores e reguladoras do crescimento e

desenvolvimento das plantas superiores (SAGE, 2002). Porém, mesmo nestes casos, a taxa de fotossíntese em elevadas concentrações de CO₂ ainda é maior do que nas condições normais (AIDAR *et al.*, 2002).

Níveis de CO₂ a partir de 600 ppm, contudo, alteram bioquímica e fisiologicamente estruturas vitais: há uma maior concentração de amido nos cloroplastos, paralisando a atividade da organela, o que resulta em retroinibição da fotossíntese. Com o mesófilo resistente à difusão de CO₂, ocorre hipertrofia dos tecidos foliares (folhas mais tenras), deslocando a relação superfície da folha/peso seco foliar em favor da superfície da folha. Com o excesso de carboidratos, mais assimilados são desviados para as raízes, alterando a relação raiz/parte aérea, o que aumenta a respiração radicular e leva à perda de produtos fotossintéticos via este sistema. Indiretamente também ocorre uma alteração no balanço de água e carbono nas plantas, com efeitos secundários sobre o crescimento, o qual ocorre sem vigor e afeta a resistência aos fatores de estresse, levando à partição de recursos e síntese de compostos de defesa (LARCHER, 2000; SAGE, 2002).

Todos estes fatores combinados levam à queda na produção. Entretanto, a impressão geral de Larcher (2000) é que as vantagens se sobrepõem às desvantagens.

A despeito de todos os efeitos metabólicos e de crescimento que o incremento de CO₂ pode trazer às plantas, as alterações climáticas, associadas ao acúmulo de gases que absorvem infravermelho na atmosfera pode afetar a vida vegetal de forma muito mais séria, especialmente quando não se é possível mensurar a grandeza dessas mudanças climáticas, apenas prever as conseqüências delas, preparando-se para mitigar qualquer adaptação para a produção agrícola (LARCHER, 2000; YOON, 2009).

2.2.2. Aumento da Temperatura

Junto com um aumento na concentração de CO₂, projeções climáticas indicam mudanças consequentes em outros fatores climáticos, como a temperatura (MAGALHÃES, 1983; YOON *et al.*, 2009).

Temperatura pode ser definida como a energia contida no meio resultante do balanço energético que aí se estabelece (ORTOLANI e TARIFA, 1978). Na verdade, a temperatura reflete a carga de energia de um determinado sistema, micro ou macro cósmico, esta relacionada diretamente com aquela, como evidenciado pela Lei de Stefan-Boltzmann, principal lei da radiação solar (força diretora de todos os ecossistemas), a qual afirma que a quantidade de energia emitida por um corpo negro ou não (há um fator de correção), em todos os comprimentos de onda, é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta: $273^{\circ}\text{K} + \text{temperatura em } ^{\circ}\text{C}$ (MOTA, 1989).

O uso comum da variável temperatura nos estudos sobre respostas interativas entre clima-planta reside no fato de que os processos de crescimento e desenvolvimento vegetal são afetados tanto pela temperatura do ar quando do solo, além de cada germoplasma apresentar limites térmicos mínimos, máximos e ótimos para cada estágio fenológico (ORTOLANI e TARIFA, 1978).

Desde a metade de século XX, há indicações de que a temperatura média do planeta aumentou 0,7K (LARCHER, 2000). O IPCC (2007) estima que a temperatura média da atmosfera terrestre aumentará de 1,8 a 4,0°C neste século. Entretanto, assumindo que os níveis de dióxido de carbono se estabilizem em 45% acima da taxa atual, a estimativa mais confiável é de um aumento médio de 3,0°C (ÁVILA, 2007).

No âmbito global, o aumento da temperatura tem elevado o nível dos mares em consequência do derretimento de parte do gelo das calotas polares, o que tem acarretado sérios prejuízos para a humanidade e para os ecossistemas terrestres, principalmente nas zonas litorâneas. Muitos modelos prevêm o aquecimento em latitudes elevadas (Sibéria, Escandinávia e Canadá), pequenas alterações nos trópicos e expansão das zonas áridas (LARCHER, 2000). Outros efeitos já descritos incluem um regime hidrológico mais ativo, aumentando a probabilidade de alterações na umidade atmosférica e nos regimes de precipitação; além de mudanças na circulação atmosférica e oceânica, e aumento da capacidade de retenção de vapor de água do ar (BUCKERIDGE *et al.*, 2007).

2.2.2.1. A Temperatura e a Fisiologia Vegetal

Como já colocado, o calor é importante para a manutenção da vida, mas deve ser oferecido em quantidade suficiente e não excessiva. Cada processo metabólico é ajustado dentro de uma faixa de temperatura – que varia entre um pouco menos de zero grau na escala Celsius até um pouco mais dos 40°C, limite da funcionalidade das enzimas – mas o ótimo crescimento só é alcançado se os diversos processos envolvidos no metabolismo e no desenvolvimento estiverem em harmonia uns com os outros. Francis e Barlow 1988, *apud* LARCHER (2000) afirmam que o crescimento por meio de divisão celular é vigoroso aos 30°C para a maioria das plantas herbáceas cultivadas; já para o crescimento em extensão a faixa ótima de temperatura está entre 30 e 40°C para plantas tropicais e subtropicais (SWEENEY e HOPKINSON, 1975, *apud* LARCHER, 2000) e entre 15 a 30°C para outras espécies (LARCHER, 2000). Dessa maneira, a temperatura tem uma influência indireta sobre o crescimento e, por tabela, sobre o desenvolvimento, por ter efeito quantitativo sobre o suprimento de energia oriundo do metabolismo basal e sobre a biossíntese.

O efeito direto da temperatura reside nos processos regulatórios (termoindução, termoperiodismo e termomorfismo) e na atividade dos biocatalizadores (enzimas), proteínas funcionais cuja atividade é acelerada com o incremento da temperatura dentro dos limites biológicos. O aumento de cada 10°C na temperatura é capaz de duplicar a velocidade dos processos bioquímicos e fisiológicos, tanto anabólicos quanto catabólicos (MOTA, 1989). Assim, as respostas das plantas ao aumento da temperatura como consequência de uma alteração global é bastante óbvia, podendo longas estiagens, inundações, intenso calor ou o aumento da salinidade atuarem como fatores de estresse sobre elas (LARCHER, 2000).

Em condições normais, altas temperaturas advindas da energia solar duram apenas algumas horas no curso do dia, período no qual atingem picos de valores em folhas e flores. Quando esses órgãos apresentam boa capacidade de troca de calor e baixa capacidade térmica, rapidamente entram em equilíbrio com a temperatura do ar que os envolve e, dessa forma, o pico

de calor as afeta durante poucos minutos (LARCHER, 2000). Entretanto, com o aumento da temperatura, os primeiros mecanismos vegetais afetados são a fotossíntese e a respiração (MAGALHÃES, 1983). Os processos fotoquímicos reagem primeiro à disponibilidade de radiação, enquanto que os bioquímicos são influenciados pela temperatura, disponibilidade de água e minerais (LARCHER, 2000). A taxa fotossintética tem desempenho de acordo com as diferentes faixas de temperatura do ar, reduzindo significativamente a temperaturas acima de 35°C. Já a taxa respiratória dobra com o aumento de cada 10°C, sendo que acima de 45°C, ela decai devido a danos no aparato enzimático (desnaturação protéica). Desta maneira, o ganho líquido na produção de matéria seca (fotossíntese – respiração) varia com a temperatura (MOTA, 1989). Altas temperaturas também provocam aumento nos processos de evapotranspiração e evaporação (TAIZ e ZEIGER, 2009) alterando, assim, o metabolismo celular e, conseqüentemente, da planta como um todo.

2.2.3. Interação dos Fatores Temperatura e CO₂

Segundo Buckeridge *et al.* (2007) os efeitos do CO₂ e da temperatura são aditivos. Idso *et al.* (1987), Baker *et al.* (1989), Delgado *et al.* (1994) e Newman *et al.* (2001), relataram o efeito do aumento de CO₂ geralmente com aumento de temperatura. Porém, ainda há muitas incertezas sobre o efeito desta interação no crescimento e desenvolvimento dos vegetais, já que os fatores externos só raramente, e por curto espaço de tempo, se harmonizam de forma a favorecer a ocorrência de picos de valores, por exemplo, de fotossíntese (YOON *et al.*, 2009; LARCHER, 2000), aumentando a incerteza do desempenho das culturas sob a potencial mudança climática (KIMBALL *et al.*, 2002; BANNAYAN *et al.*, 2005; BLOOM, 2006). Nesse sentido, a quantificação e análise do efeito interativo destes fatores ambientais sob características específicas de cultivares é imprescindível diante do cenário ambiental e agropecuário que está se formando (YOON *et al.*, 2009).

Larcher (2000) afirma que sinais expressos pela planta em resposta a uma substância particular podem ser modificados por outros fatores de

estresse que atuam sobre ela ao mesmo tempo, os quais, geralmente, aumentam os efeitos danosos do agente poluidor principal. Portanto, o reconhecimento inicial de danos causados por poluição incipiente, tais como: diminuição ou aumento da atividade de certas enzimas, aumento ou queda da respiração, distúrbios da fotossíntese, alterações na abertura e no fechamento estomático ou diminuição na alocação dos assimilados para o sistema radicular, ajuda a descrever padrões de resposta sob vários critérios, proporcionando bases mais seguras para um diagnóstico a respeito do fator de estresse.

YOON *et al.* (2009) sugere que seria benéfico o estudo de interação dos efeitos de concentração de CO₂ e temperatura por amostragem ao longo do ciclo da cultura, porque a magnitude e direção da resposta de cada fator ambiental pode variar com o estágio de desenvolvimento; além de fornecer informações mais detalhadas. Afirmam ainda que compreender a resposta linear e não linear para o crescimento e desenvolvimento sob CO₂ em baixa ou alta temperatura pode prover uma predição mais acurada do comportamento da cultura em determinada condição ambiental.

As mudanças climáticas que estão se apresentando atualmente assemelham-se aos eventos ambientais da ordem de centenas de anos que provocaram catástrofes para os organismos vivos. Souza e Buckeridge (2004) afirmam que a partir de certo limite os efeitos dessas mudanças podem ser rápidos demais, vulnerabilizando e instabilizando a biodiversidade. Em contrapartida, a resiliência na busca do reestabelecimento do estado de equilíbrio, característica dos sistemas complexos, pode amenizar os efeitos das perturbações de intensidade razoável. De qualquer maneira, colocar as alterações climáticas sob o ponto de vista ecofisiológico, relacionando-o com os processos de crescimento e desenvolvimento, permite estudos comparativos para analisar e identificar as inter-relações entre os fatores ambientais e o comportamento vegetal, esclarecendo muitos de seus mecanismos de adaptação (BUCKERIDGE *et al.*, 2007).

3.0. METODOLOGIA

3.1. Condições Experimentais

O experimento foi conduzido em dois Fitotrons instalados no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (CNPQ/EMBRAPA), localizado na cidade de Campina Grande-PB (**Figura 1**).



Figura 1. Fitotrons localizados no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Embrapa Algodão. Foto: Isaura Oliveira, Campina Grande – PB, 2010.

O ambiente experimental foi constituído por sala climatizada artificialmente, (Fitotron), com dimensões de 3,10m comprimento x 1,90m largura x 2,50m altura, sendo internamente de cor branca para melhor aproveitamento da luz. A fonte luminosa constituiu-se de lâmpadas fluorescentes (40W) e incandescentes (100W) na proporção 4:1, fornecendo

um total de $400,68 \text{ W m}^{-2}$. A temperatura do ar no interior da câmara foi controlada através de condicionador de ar de 10.000 BTUs e termohigrógrafo, instalados no interior da câmara (**Figura 2**). O ar no interior da câmara foi enriquecido com 400 e 800 ppm de CO_2 , combinados com dois diferentes níveis de temperatura: 30° e 37°C , fatores monitorados automaticamente. As fontes de CO_2 utilizadas foram cilindros pressurizados com 99,8% de CO_2 , $58,3 \text{ Kg F cm}^{-2}$.

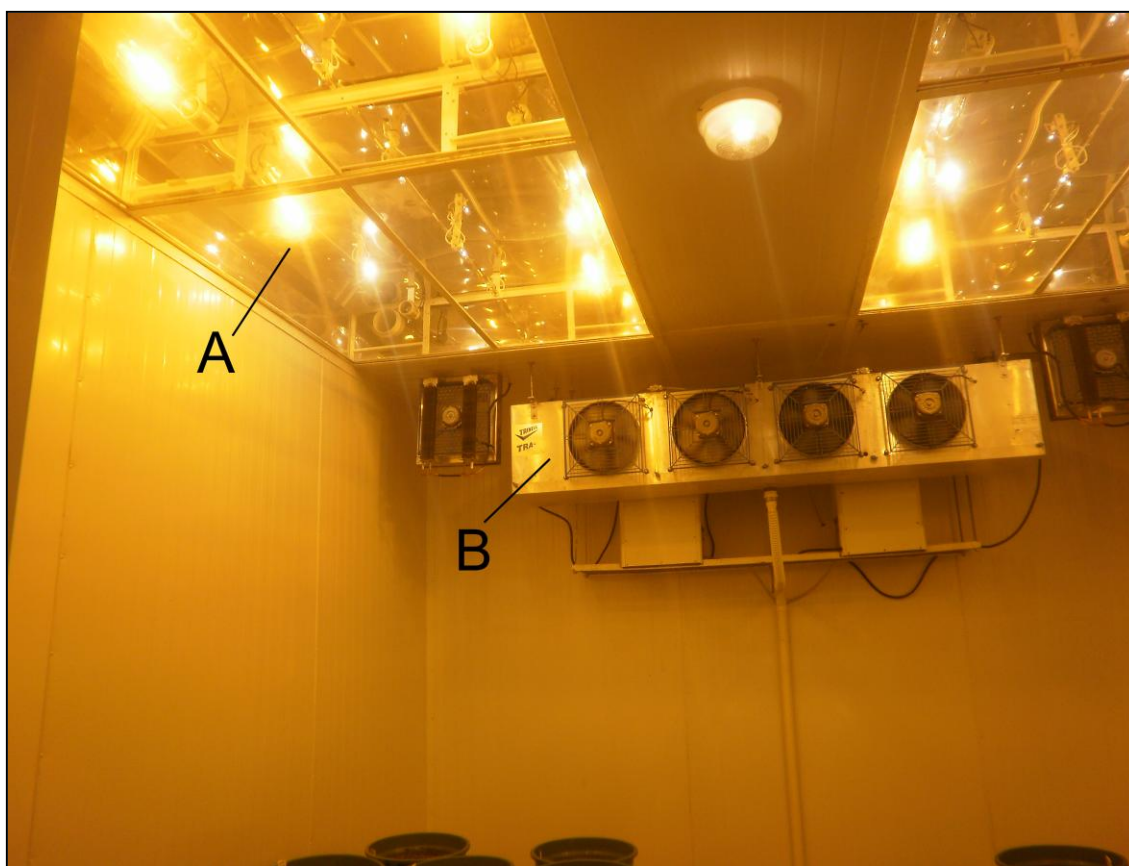


Figura 2. Interior do Fitotron. A – fonte luminosa. B – Sistema de controle da temperatura e umidade. Foto: Fabíola Silva, Campina Grande – PB, 2010.

No primeiro ciclo do experimento, a condição ambiental instalada nos fitotrons foi de umidade relativa (UR) do ar diurna/noturna 50% e 70%, 400 ppm de CO_2 e fotoperíodo de 11h, sendo no Fitotron 1 a temperatura diurna/noturna 37°C e 25°C e no Fitotron 2, 30°C e 20°C . No segundo semestre, manteve-se a

UR, o fotoperíodo e as temperaturas, dobrando-se a concentração de CO₂ para 800 ppm nas duas câmaras.

A unidade experimental constituiu-se de uma planta/vaso de polietileno com capacidade para 20 litros, contendo substrato tipo turfa e areia na proporção 1:1. Todas as plantas receberam adubação mineral nitrogenada: 20% na fundação e 80% em cobertura, aos 15 dias após a emergência. As sementes de *Ricinus communis* L., cultivar BRS-Energia, foram adquiridas no Banco Ativo de Germoplasma do CNPA e semeadas cinco unidades por vaso, permanecendo uma planta por vaso após o desbaste. A irrigação foi realizada a cada três dias, na fase vegetativa, e a cada dois dias na fase reprodutiva, mantendo o potencial hídrico próximo da capacidade de campo. Após o desbaste foram colocados sacos plásticos nas unidades experimentais a fim de impedir a perda de água do substrato para o ambiente (**Figura 3**).



Figura 3. Disposição das unidades experimentais no interior do Fitotron. A – vasos sem saco plástico. B – vasos com saco plástico. Foto: Fabíola Silva, Campina Grande – PB, 2010.

Vinte vasos foram distribuídos em cada uma das quatro condições ambientais descritas, totalizando 80 unidades amostrais; e as avaliações e análises foram realizadas a cada 20 dias após o plantio (DAP), em quatro repetições, perfazendo um total de cinco coletas (**Figura 3**).

3.2. Análise de Crescimento

No estudo fenológico, de coleta não destrutiva (BENINCASA *et al.*, 2003), avaliaram-se os seguintes descritores: altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar da planta.

Os dados primários para a área foliar foram inseridos na equação (SEVERINO *et al.*, 2005):

$$S = 0,2439 \times (P + T)^{2,0898}$$

onde,

- **S** = área foliar;
- **P** = comprimento da nervura principal;
- **T** = comprimento médio das nervuras laterais.

Esses valores primários permitiram estimar área foliar específica (AFE), segundo a equação (LARCHER, 2000):

$$AFE = \frac{A_f}{P_f} \text{ (dm}^2 \text{ mg}^{-1}\text{)}$$

onde,

- **AFE** = área foliar específica
- **A_f** = área da folha
- **P_f** = peso da matéria seca da própria folha

3.3. Estudo de Trocas Gasosas

A capacidade fotossintética, a taxa de transpiração e a condutividade estomática foram obtidas em luz saturada, usando Analisador Infravermelho de Gás (IRGA - *Infra Red Gas Analyzer*) (LI-6400; LICOR[®], Inc., Lincoln, NE, USA)

de acordo com a metodologia descrita por Walker (1987) e Prado e Moraes (1997) (**Figura 4**).



Figura 4. IRGA (*Infra Red Gas Analyzer*).

Fonte: http://www.licor.com/env/LEEF/leef_ecophysiology.jsp

3.4. Disruptura da Membrana Celular

Para estudo da disruptura da membrana celular, extraíram-se, por unidade experimental, cinco discos foliares de área 113 mm² cada, com auxílio de um perfurador de cobre, os quais foram lavados e acondicionados em placas de Petri contendo 20 mL de água deionizada. As placas foram fechadas e mantidas à temperatura de 25° C, por 90 minutos. Após este período, a condutividade inicial no meio foi medida (X_i) usando um condutímetro de bancada (MB11, MS Techonopon®). Em seguida, as placas foram submetidas à temperatura de 80° C, por 90 minutos, em estufa de secagem (SL100/336, SOLAB®) e a condutividade medida novamente (X_f). O extravasamento de eletrólitos foi expresso como a porcentagem de condutividade em relação à condutividade total após o tratamento por 90 minutos a 80° C: $[(X_i/X_f) \times 100]$ (SCOTTI CAMPOS e THU PHAM THI, 1997) (**Figura 5**).



Figura 5. Disposição das placas de Petri contendo discos foliares para mensuração do extravasamento de eletrólitos. Foto: Fabíola Silva, Campina Grande – PB, 2010.

3.5. Teor de Pigmentos Fotossintetizantes

Os teores de clorofila *a*, *b* e total foram determinados por DMSO, seguindo indicações de Arnon (1949), adaptada por Hiscox e Israelstam, (1979) com base em leituras efetuadas em espectrofotômetro (Biomate 3, Thermo Scientific®) nos seguintes comprimentos de onda: 663 nm, 645 nm e 480 nm.

Tubos de ensaio previamente envolvidos com papel alumínio – para proteção da radiação solar – acomodaram um disco foliar cada, obtido com o auxílio de um perfurador de cobre com circunferência de área de 113 mm², em triplicata para cada amostra. Foram adicionados 5 mL do reagente dimetilsulfóxido (DMSO 99,9%, cód. 347, VETEC®) para dissolução das amostras, incubando-as à 70°C, por 30 minutos, em banho-maria (Mod. BMD02, Biopar®), período no qual foram homogeneizados individualmente a cada 10 min. Após resfriamento à temperatura ambiente, procedeu-se às

leituras transferindo uma alíquota para cubeta de quartzo de 3 cm³ de volume e a absorbância obtida em espectrofotômetro, nos comprimentos de onda já descritos (663 nm, 645 nm, 480 nm). Para as determinações e quantificação foram utilizadas as equações relatadas por Wellburn (1994) e Sofiatti *et al.* (2009).

3.6. Quantificação de Carboidratos Solúveis

Para a quantificação de carboidratos solúveis foram seguidas indicações de McCready *et al* (1950), Yemn e Willis (1954) e Bezerra Neto e Barreto (2004). Em balança de precisão (Mod. FA – 2104N, Bioprecisa[®]) pesou-se 0,02g de matéria seca de raiz. Para obtenção do extrato, as amostras foram maceradas em 5 mL de etanol a 80%, com auxílio de almofariz e pistilo e, em seguida, lavadas com mais 5 mL do mesmo reagente para transferência do extrato para tubo Falcon com capacidade para 15 mL. As amostras foram centrifugadas (Mod. 3-16PK, Sigma[®]) a 4.500 rpm (7043 x g), por 10 minutos, após o que foi retirada uma alíquota de 1 mL do sobrenadante, à qual foi acrescido 2 mL de solução antrona previamente preparada (0,2g dissolvido em 100 ml de ácido sulfúrico P.A.), homogeneizada com leve agitação em banho de gelo. O homogenato foi submetido à 100°C, em banho-maria (BM D02, Biopar[®]), por 10 minutos. Após o resfriamento em banho de gelo, procedeu-se à leitura das amostras em espectrofotômetro (Biomate 3, Thermo Scientific[®]) a 620 nm.

3.7. Delineamento Experimental Estatístico

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro tratamentos, consistindo numa combinação fatorial de duas temperaturas (30°C e 37°C) e dois níveis de CO₂ (400 ppm e 800 ppm), com quatro repetições obtidas em cinco coletas ao longo do ciclo. Os dados foram

submetidos à análise de variância utilizando o programa estatístico ASSISTAT[®] (versão 7.6. beta) sendo testados os efeitos simples e interações, comparando as médias pelo Teste de Tukey ($P \leq 0,05$), procedendo-se à análise de regressão para o período de coleta.

Antes da análise estatística, os dados referentes à área foliar precisaram ser transformados para $\sqrt{x}$ e os referentes à área foliar específica (AFE) para $\log(X)$.

4.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ciclo Fenológico

Na condição de CO₂ normal, a germinação das sementes de mamoneira ocorreu em oito dias, tanto aos 30°C quanto aos 37°C, correspondendo ao período descrito na literatura para a espécie (PACHECO, 2008; AZEVEDO e LIMA, 2001). Ao dobrar a concentração de CO₂, a germinação aconteceu apenas quatro dias depois do plantio, o que corresponde a 50% de dias a menos que o descrito por Pacheco (2008), significando que ao dobrar a concentração de CO₂ atmosférico, ocorreu uma redução no período para o início da germinação (**Figura 6**). Yoon *et al.*, (2009) também identificaram redução no número de dias para emergência em sementes de algodão, devido ao incremento de CO₂.



Figura 6. Germinação de mamoneira, cv. BRS Energia, cultivada em alta temperatura e elevada concentração de CO₂. Campina Grande - PB, 2010.

Em alta temperatura, o lançamento do primeiro cacho (**Figura 7**) ocorreu aos 52 dias após o plantio (DAP) e em condições normais de ambiente, aos 66 DAP. Na condição de elevada concentração de CO₂, o lançamento do primeiro cacho ocorreu aos 48 DAP; e em alta temperatura e alto CO₂, aos 52 DAP. Reddy *et al.* (1995) e Yoon *et al.* (2009) observaram um ciclo mais acelerado, da germinação à floração, em algodão, com o aumento da temperatura, e também que a fase vegetativa se prolonga com o incremento de CO₂, fatos também observados neste estudo.



Figura 7. Lançamento do primeiro cacho em mamoneira, cv. BRS Energia, cultivada em alta temperatura e elevada concentração de CO₂. Campina Grande - PB, 2010.

Diferentes culturas têm mostrado diferentes respostas ao incremento de CO₂ em sua fenologia, o que envolve desenvolvimento e crescimento, este inserido no primeiro, junto com a diferenciação celular (TAIZ e ZEIGER, 2009). Allen *et al.* (1990) encontrou pouca mudança da fenologia da soja; Imai *et al.* (1985) relata aceleração do ritmo de desenvolvimento em arroz com o enriquecimento de CO₂; Li *et al.* (1997) relata início do aparecimento de espiguetas em trigo acelerado significativamente pelo enriquecimento de CO₂. Em nosso estudo, a temperatura teve mais influência pra encurtar o ciclo do que a alta concentração de CO₂. Rawson (1992) afirma que a disponibilidade de carbono pode modificar a taxa de desenvolvimento, associada principalmente às condições limitantes, a qual é mais provável em associação com alta temperatura.

Hall (2001) afirma que altas temperaturas podem aumentar a taxa de desenvolvimento reprodutivo, encurtando o tempo para a fotossíntese contribuir na produção de frutos e sementes. Atenta ainda para a existência de um limiar de aclimação, após o qual os efeitos do estresse térmico ganham maiores proporções. O autor descreve danos importantes na fase reprodutiva devido ao calor em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), feijão caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walpi], tomate (*Solanum lycopersicum* L.), algodão (*Gossypium hirsutum* L., raça *latifolium*, Hutch.), arroz (*Oryza* ssp.), trigo (*Triticum* ssp.), milho (*Zea mays* L.) e sorgo [*Sorghum bicolor* L. Moench)].

4.2. Crescimento

Em relação à altura do caule (**Figura 8**), o aumento da concentração de CO₂ promoveu o crescimento até um ponto ótimo: 80 dias após o plantio (DAP), continuando após este período, mas de forma menos acelerada. Sabendo que o aumento da concentração de CO₂ influencia o aumento da temperatura (MAGALHÃES, 1983; YOON *et al.*, 2009), o pouco crescimento das plantas coletadas aos 100 DAP, em relação às coletas anteriores, é justificada por Abrol e Ingram (1996) quando afirmam que os efeitos da

temperatura no crescimento e desenvolvimento vegetal segue uma função linear, a qual descreve um platô em vez de uma temperatura ideal. Reddy *et al.* (1995), trabalhando com algodoeiro, afirmam que os efeitos do incremento de CO₂ são mascarados com o aumento da temperatura à medida que o ciclo desta cultura avança, pois tal fator aparentemente limita o crescimento de todos os órgãos vegetais, em particular, o crescimento reprodutivo. Isto indica que, dependendo do estágio de desenvolvimento, a resposta da planta a estes fatores ambientais pode diferir (RAWSON, 1992; HACOUR *et al.*, 2002).

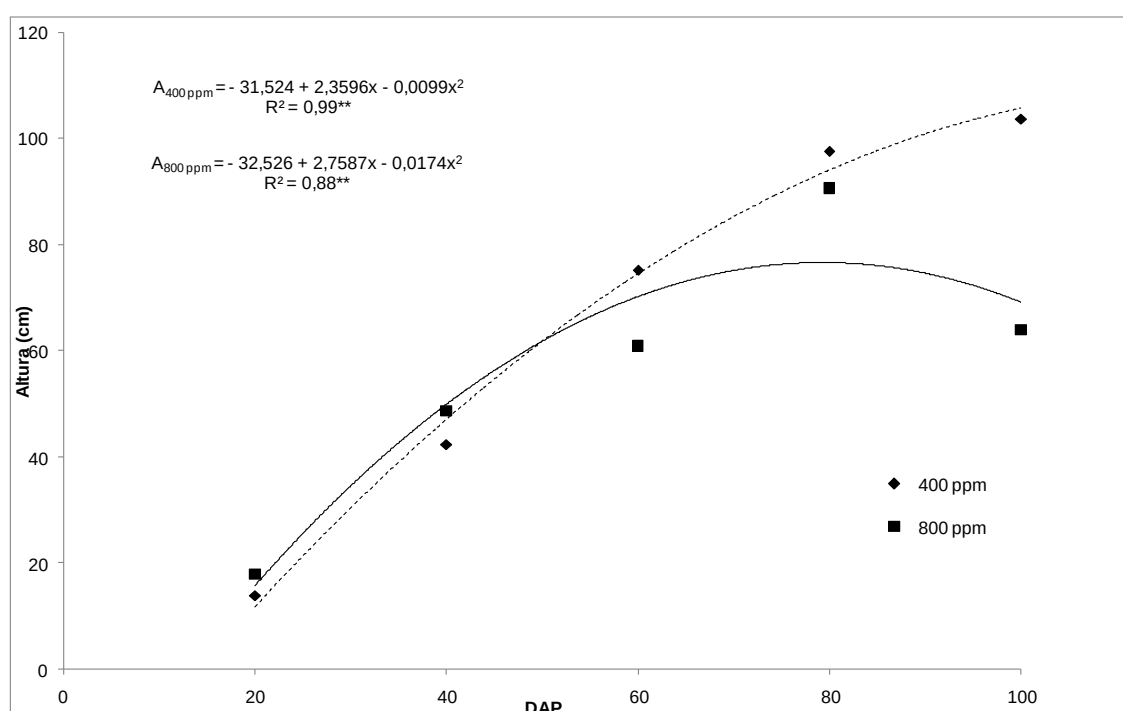


Figura 8. Altura da mamoneira (*R. communis*), cv. BRS Energia, em resposta a diferentes concentrações de CO₂, em Fitotron. Campina Grande – PB, 2010.

Hacour *et al.* (2002) detectou redução na altura final de batata (*Solanum tuberosum* L. cv Bintje) com o incremento de CO₂, indicando o final prematuro do crescimento em uma planta ainda ativa como um dos efeitos de tal estresse. Esse declínio no ritmo do crescimento observado em nosso estudo coincide com a fase reprodutiva da mamoneira, a qual é prejudicada com o aumento da temperatura e dos níveis de CO₂, conforme afirma Hall (2001).

Muitos autores descrevem que o aumento da concentração de CO₂ favorece o aumento na taxa fotossintética (TAIZ e ZEIGER, 2009; LARCHER, 2000; AIDAR *et al.*, 2002; REDDY *et al.*, 1995; 2005) e, ao entrar nos estômatos, o carbono é fixado em sacarose no citoplasma celular ou amido nos cloroplastos (BUCKERIDGE *et al.*, 2007). O aumento da temperatura danifica a membrana do tilacóide, comprometendo os componentes do Fotossistema II (PSII) (SOUZA *et al.*, 2004), provocando posterior perda do equilíbrio no metabolismo do carbono. Dessa maneira, ocorre acúmulo de amido no cloroplasto, paralisando a atividade da organela, provocando resistência do mesófilo e retroinibição da fotossíntese (MAUNEY *et al.*, 1979; BELTRÃO e AZEVEDO, 1993; LARCHER, 2000; SAGE, 2002). Larcher (2000) e Sage, (2002) afirmam que essa alteração no balanço de água e carbono nos vegetais tem efeitos secundários sobre o crescimento. Buckeridge *et al.* (2007) explicam que o aumento da disponibilidade de CO₂ deveria aumentar a taxa fotossintética e permitir maior acúmulo de carbono, com isso as plantas deveriam aumentar de tamanho. No entanto, afirmam que os efeitos do CO₂ e da temperatura são aditivos, portanto, espera-se sim um aumento geral na biomassa, porém o reflexo seria maior no acúmulo de amido e não tanto no tamanho das plantas (BUCKERIDGE *et al.*, 2007).

Um aumento na taxa de crescimento também pode não ocorrer em condição de incremento de CO₂ se a planta apresentar aclimação fotossintética, que caracteriza-se pela redução no investimento em proteínas relacionadas ao aparato fotossintético, o qual é modulado (acredita-se) pelos níveis de carboidratos nas folhas em sincronia com sinais hormonais nas raízes, em especial as citocininas (SAGE, 2002).

O incremento da concentração de CO₂ promoveu um aumento significativo da área foliar em 85,34% aos 40 DAP (**Figura 9**). Porém, nas etapas seguintes do ciclo, apesar de verificar-se queda na área foliar nas duas concentrações do gás, os valores da variável em 800 ppm foram menores em relação à concentração normal de CO₂ (400 ppm), descrevendo queda dos 60 aos 80 DAP em 35,01%. Segundo Taiz e Zeiger (2009), Larcher (2000), Aidar *et al.* (2002), Reddy *et al.* (1995, 2005), o aumento da concentração de CO₂ pode promover as taxas iniciais de crescimento e desenvolvimento por

incremento na fotossíntese, porém a permanência de tal comportamento até o final do ciclo, difere para cada espécie e nas diferentes cultivares.

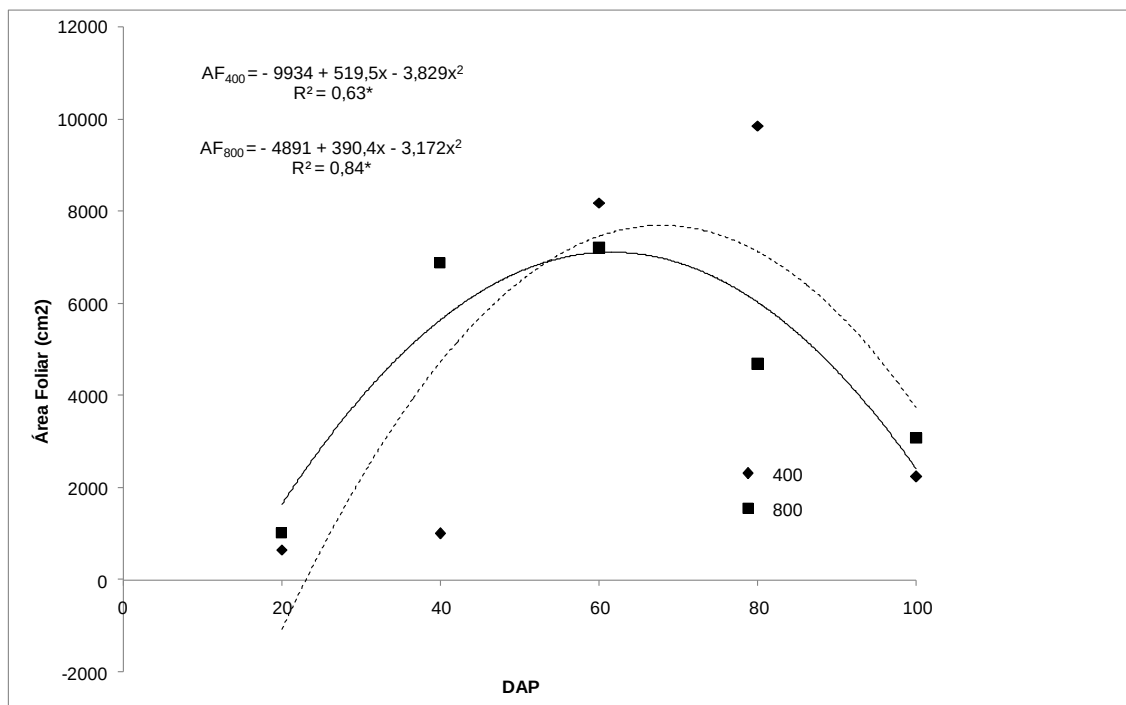


Figura 9. Área foliar da mamoneira (*R. communis*), cv. BRS Energia, em resposta à concentração de CO₂. Campina Grande – PB, 2010.

A queda na área foliar pode ser explicada pela deiscência foliar característica no período (**Figura 10**). Larcher (2000) afirma que a redução da área foliar é um dos efeitos característicos do aumento da concentração de CO₂, afirmando que a planta torna o mesófilo mais espesso como estratégia adaptativa. O aumento da concentração de CO₂ também promoveu a deiscência prematura na copa completa de batatas (*Solanum tuberosum* L. cv Bintje) (HACOUR *et al.*, 2002).

Dessa maneira, procedeu-se à análise da área foliar específica (AFE), (**Tabela 1**). Observa-se que o aumento da concentração de CO₂ teve efeito significativo nos primeiros 20 e 40 DAP, à 37°C. A partir deste período, porém, não atuou mais como fator influenciador do espessamento do mesófilo, concordando com as afirmações de Hall (2001) de que o aumento de CO₂ só é benéfico na fase vegetativa das plantas.

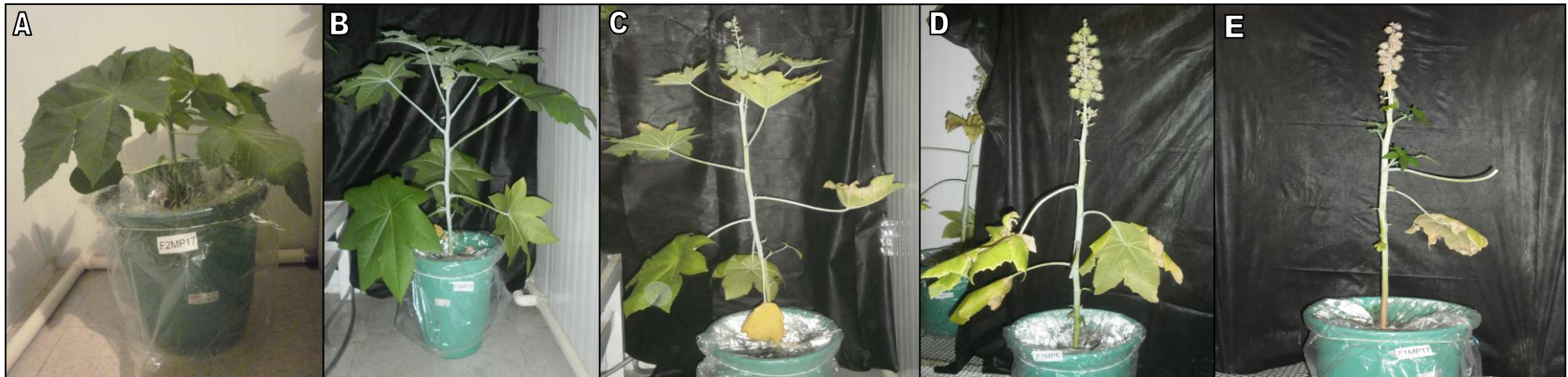


Figura 10. Deiscência foliar de mamoneira (*R. communis* L.), cv. BRS Energia, ao longo das coletas destrutivas. A – 20 DAP; B – 40 DAP; C – 60 DAP; D – 80 DAP, e E – 100 DAP. Foto: Fabíola Silva, Campina Grande, PB.

Tabela 1. Médias para a variável área foliar específica (AFE) da mamoneira, cv. BRS Energia, em função da temperatura e concentração de CO₂. Campina Grande – PB, 2010.

Temp	AFE (cm ² g ⁻¹)							
	20 dias		40 dias		80 dias		100 dias	
	CO ₂		CO ₂		CO ₂		CO ₂	
	400 ppm	800ppm	400 ppm	800ppm	400 ppm	800ppm	400 ppm	800ppm
37°C	2,31 aB	2,73 aA	1,85 aB	2,61 aA	2,58 aA	2,58 aA	2,36 aA	2,43 aA
30°C	2,28 aB	2,63 aA	2,07 aB	2,59 aA	2,75 aA	2,56 aA	2,51 aA	2,56 aA

Letras minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, 5% de probabilidade ($0,01 \leq 0,05$). Dados transformados para log (x).

Tabela 2. Médias para as variáveis: diâmetro do caule e número de folhas em mamoneira, cv. BRS Energia, sob alta temperatura e elevado nível de CO₂, em Fitotron. Campina Grande – PB, 2010.

Temp	Diâmetro do caule (cm)		Nº de folhas (unidade)	
	CO ₂		CO ₂	
	400 ppm	800 ppm	400 ppm	800 ppm
37°C	13,19 aA	12,25 bA	14,86 aA	12,25 aB
30°C	13,76 aA	14,65 aA	9,45 bA	11,28 aA

Letras minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, 5% de probabilidade ($0,01 \leq 0,05$). Dados transformados para log (x).

O aumento da concentração de CO₂, independente do aumento da temperatura, favoreceu o aumento do diâmetro do caule em mamona, cv. BRS Energia (**Tabela 2**). Allen Jr *et al.* (1990) encontraram os mesmos resultados para esta variável em soja (*Glycine max* L.).

A concentração de CO₂ também favoreceu a rápida deiscência foliar, agindo como acelerador do ciclo da cultivar também por amplificar a taxa fotossintética (LAWLOR e MITCHEL, 2000; AIDAR *et al.*, 2002; GRIFFIN e SEEMANN, 1996). Hacour *et al.* (2002) detectaram uma queda no número de folhas verdes em batata e Bhattacharya *et al.* (1985) uma taxa de senescência mais rápida em feijão (*Vigna unguolata* L.), ambos devido ao incremento de CO₂.

A condição de alta temperatura continuou favorecendo o surgimento de novas folhas após os 60 DAP, enquanto que no mesmo período, em temperatura normal, a deiscência foi característica até o final do ciclo (**Figura 11**). O surgimento de novas folhas em alta temperatura pode ser reflexo da flexibilidade ecológica da mamoneira (LARCHER, 2000) e de sua condição de perenidade, mesmo sendo uma cultivar precoce (MILLANI, 2010).

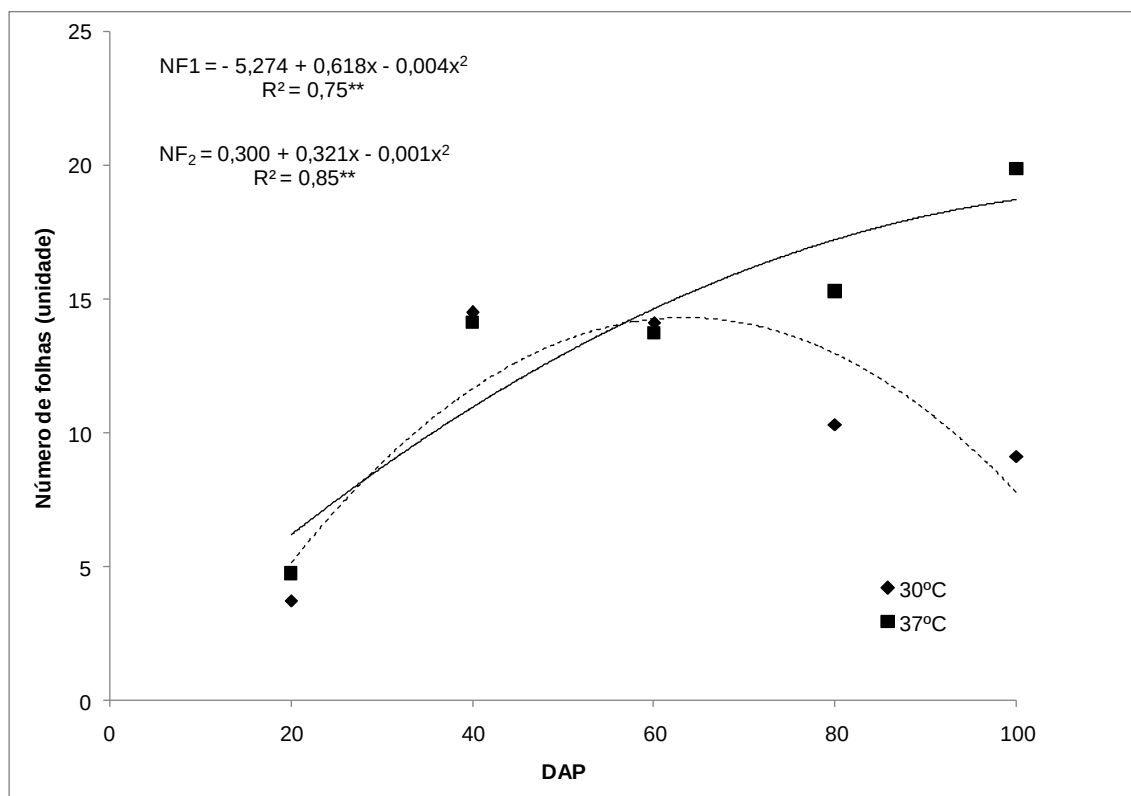


Figura 11. Influência da temperatura no surgimento de novas folhas em mamoneira, cv. BRS Energia. Campina Grande – PB, 2010.

4.3. Trocas Gasosas

4.3.1. Fotossíntese

A taxa de fotossíntese líquida da mamoneira não demonstrou comportamento favorável com o aumento da temperatura (**Figura 12**). Na condição de 30°C, a cultivar BRS Energia apresentou melhor taxa fotossintética do que aos 37°C. Observa-se que aos 40 DAP, houve uma diferença significativa nas taxas fotossintéticas medidas em ambas as temperaturas, descrevendo uma queda de 51,63% com o aumento da temperatura.

Netto (2005) atenta para o fato de que o aumento da temperatura afeta as membranas do tilacóide por estas apresentarem-se particularmente sensíveis ao calor. Demming-Adams *et al.* (1996) afirmam que os distúrbios na

fotosíntese são os primeiros sinais do estado de estresse devido ao calor, embora hajam processos tanto ou mais sensíveis como, por exemplo, o alongamento celular, principal componente do crescimento; Souza *et al.* (2004) confirmam que a formação de radicais reativos pode danificar os componentes do PSII. Assim a redução da taxa fotossintética não é atribuída ao fechamento estomático apenas, que leva à redução da assimilação de CO₂, mas também aos danos fotoquímicos que o estresse por temperatura provoca (ABROL e INGRAN, 1996). Os danos nas reações de escuro não podem ser desconsideradas. Elas são eminentemente enzimáticas e ocorre no estroma do cloroplasto, envolvendo o Ciclo de Calvin quando se trata de plantas de metabolismo C₃, como a mamoneira, onde o dióxido de carbono é reduzido a carboidratos.

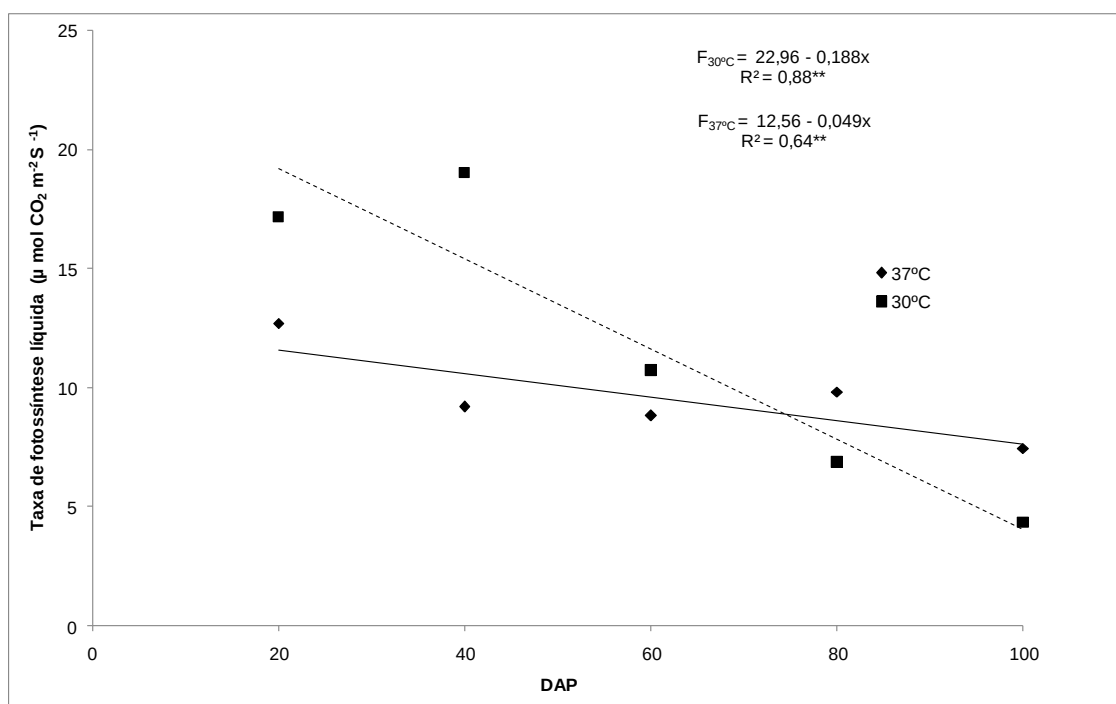


Figura 12. Taxa de fotossíntese líquida em folhas de mamoneira (*R. communis* L.), cv. BRS Energia, em função da temperatura. Campina Grande – PB, 2010.

Em nosso estudo, ao se dobrar a concentração de CO₂, a taxa fotossintética teve resposta positiva, sendo positivo em 30,27% até os 40 DAP (Figura 13), com posterior queda aos 60 DAP de 59,9%, seguindo declínio

linear até o final do ciclo. Em relação à concentração normal de CO₂, o incremento do fator favoreceu um aumento na taxa fotossintética aos quarenta dias, na ordem de 69,81% (**Figura 13**). Vários pesquisadores afirmam que uma maior proporção de CO₂ na atmosfera tem o potencial de aumentar a atividade fotossintética (TAIZ e ZEIGER, 2009; LARCHER, 2000; AIDAR *et al.*, 2002; REDDY *et al.*, 1995; 2005), entretanto a maioria desses estudos consideram apenas a fase inicial do crescimento e desenvolvimento da espécie estudada. Quando se observa o comportamento do vegetal em todo o ciclo, essa tendência de aumento da fotossíntese pode variar na espécie e na cultivar, quando se considera o aumento do CO₂ (HALL, 2001; ABROL e INGRAN, 1996). A espécie pode apresentar um ponto de saturação de CO₂, no qual a condutância estomática fica extremamente reduzida, restringindo a eficiência do PSII, o que pode ser considerado um ajuste regulatório do processo fotossintético (LARCHER, 2000; SAGE, 2002; AIDAR *et al.*, 2002; FARIA *et al.*, 1998) e não surtindo mais efeito significativo principalmente quando ciclo alcança a fase reprodutiva (HALL, 2001). Com o fechamento estomático, há um excesso de energia luminosa, mesmo sob baixas irradiâncias (MAURY *et al.*, 1996), podendo resultar em fotoinibição (LIMA *et al.*, 2002).

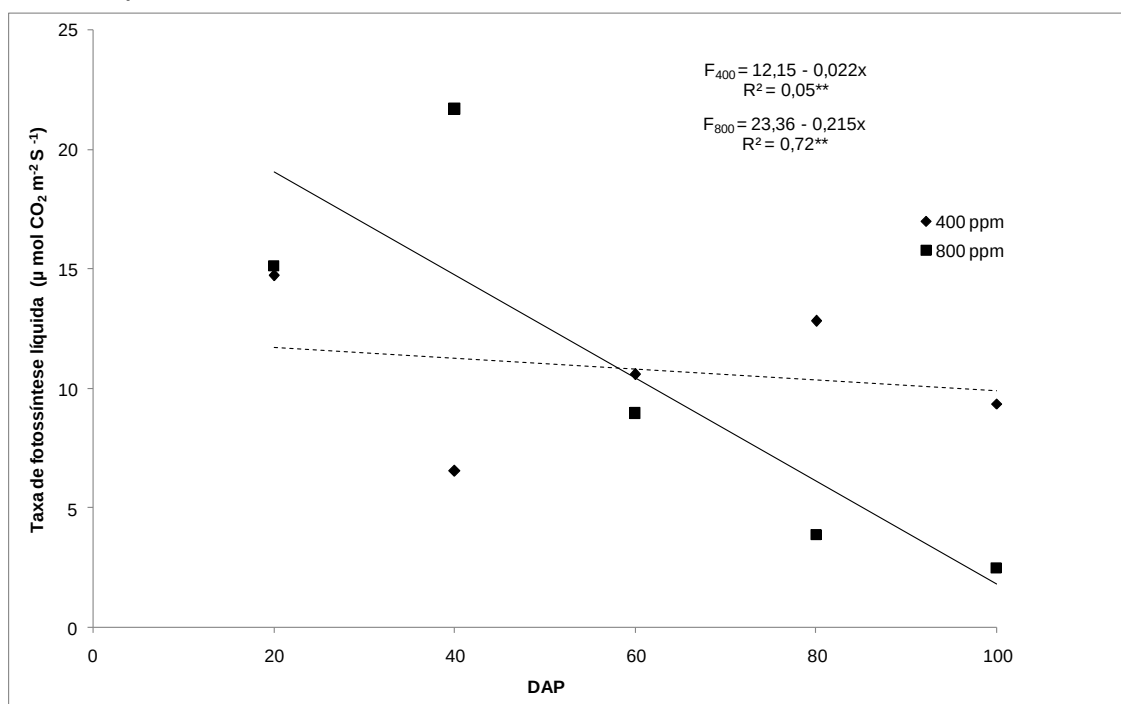


Figura 13. Efeito do aumento da concentração de CO₂ na taxa de fotossíntese líquida de mamoneira (*R. communis* L.), cv. BRS Energia. Campina Grande – PB, 2010.

Por outro lado, sabe-se que a temperatura ótima para a fotossíntese é ampla, possivelmente porque as espécies que constituem culturas importantes se adaptaram a uma gama relativamente grande de ambientes térmicos. (ABROL e INGRAM, 1996). Al-Khatib e Paulsen (1999) encontraram variação significativa na taxa fotossintética de cultivares de trigo em resposta ao aumento da temperatura. Abrol e Ingran (1996) afirmam que a temperatura ótima para a fotossíntese líquida tende a aumentar com níveis elevados de dióxido de carbono atmosférico. Diversos estudos têm concluído que o aumento da concentração de CO₂ é capaz de induzir um aumento da produtividade das culturas muito mais provavelmente em ambientes quentes do que em ambientes frios (IDSO *et al.*, 1987; GIFFORD, 1989; RAWSON, 1992, 1995).

4.3.2. Transpiração

Em nosso estudo, a taxa de transpiração de mamoneira não foi alterada significativamente com o aumento da temperatura (37°C) (**Figura 14**). O incremento de CO₂ reduziu significativamente em 54,21% a transpiração, aos 80 DAP (**Figura 15**). Segundo Hall (2001) temperaturas diurnas elevadas podem ter efeitos negativos sob a temperatura foliar, elevando a demanda evaporativa exponencialmente, resultando em alta taxa de transpiração e baixos potenciais hídricos. Segundo Wilkinson (2004), os estômatos atuam no controle térmico foliar podendo, em condições de transpiração e em relação à temperatura do ar, reduzir a temperatura foliar em até 8°C. Portanto, a redução da transpiração pode ser resultado do fechamento estomático levando a, conseqüentemente, um aumento na temperatura das folhas e no déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (NOBEL, 1991 *apud* NETTO, 2005).

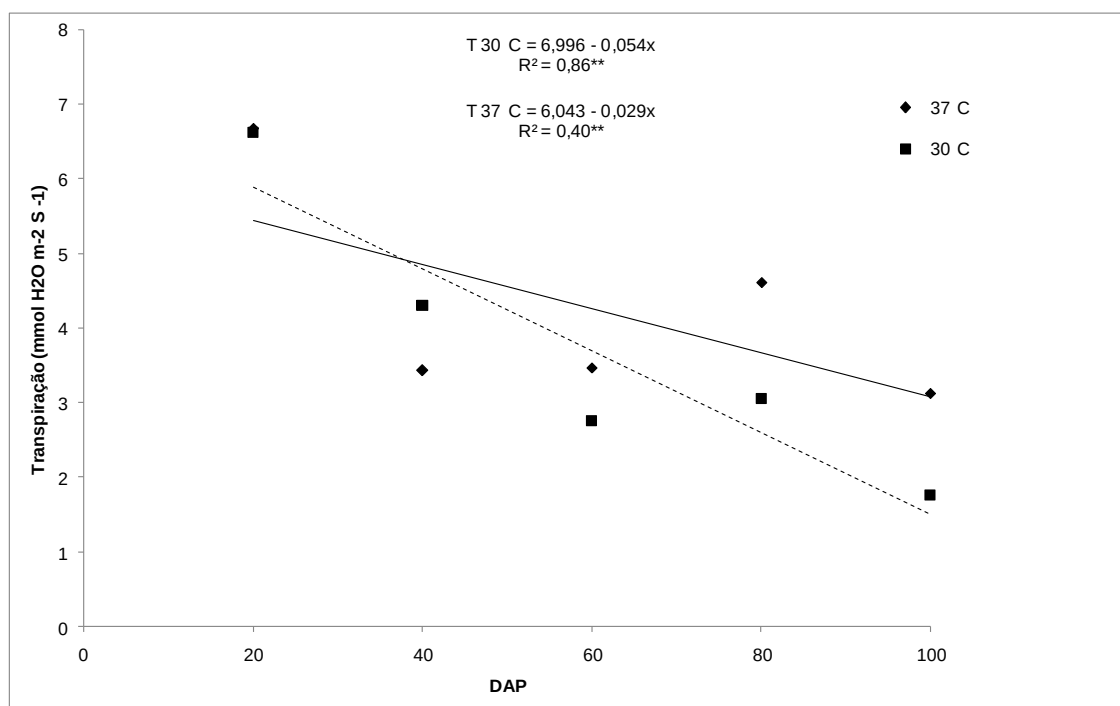


Figura 14. Taxa de transpiração em folhas de mamoneira (*R. communis* L.), cv. BRS Energia, em função da temperatura. Campina Grande – PB, 2010.

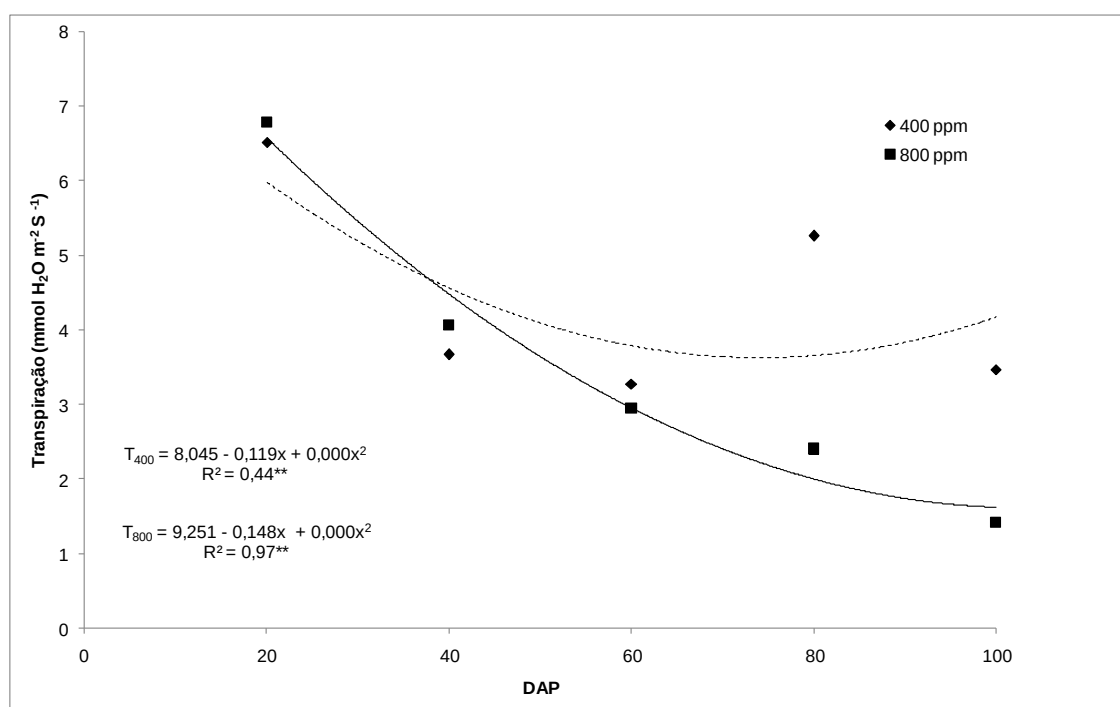


Figura 15. Taxa de transpiração em folhas de mamoneira (*R. communis* L.), cv. BRS Energia, em função da concentração de CO₂. Campina Grande – PB, 2010.

4.3.3. Condutância Estomática

Sob os dois fatores de estresse estudados, a mamoneira reduziu a sua condutância estomática, com queda significativa aos 40 DAP, da ordem de 35,15%, com a elevação da temperatura (**Figura 16**); e em 72,48%, aos 80 DAP, com o aumento de CO₂ (**Figura 17**).

Sabe-se que, em condições de estresse, o movimento estomático constitui-se num importante meio de defesa vegetal contra perdas excessivas de água e eventual morte por dessecação (TAIZ e ZEIGER, 2009) e que as células-guarda são sensíveis aos níveis de CO₂ (SAGE, 2002). Assim, em condições de alta temperatura e aumento da concentração de CO₂, o fechamento estomático é uma importante estratégia de defesa que a planta lança mão a fim de minimizar os efeitos de condições ambientais adversas (PASSIOURA, 1982). O fechamento estomático pode ser controlado pela disponibilidade hídrica no solo, pela complexa interação do ácido abscísico (ABA), condutividade do xilema e status hídrico foliar (MEDRANO *et al.*, 2002), como também pela oferta de CO₂ atmosférico (LARCHER, 2000).

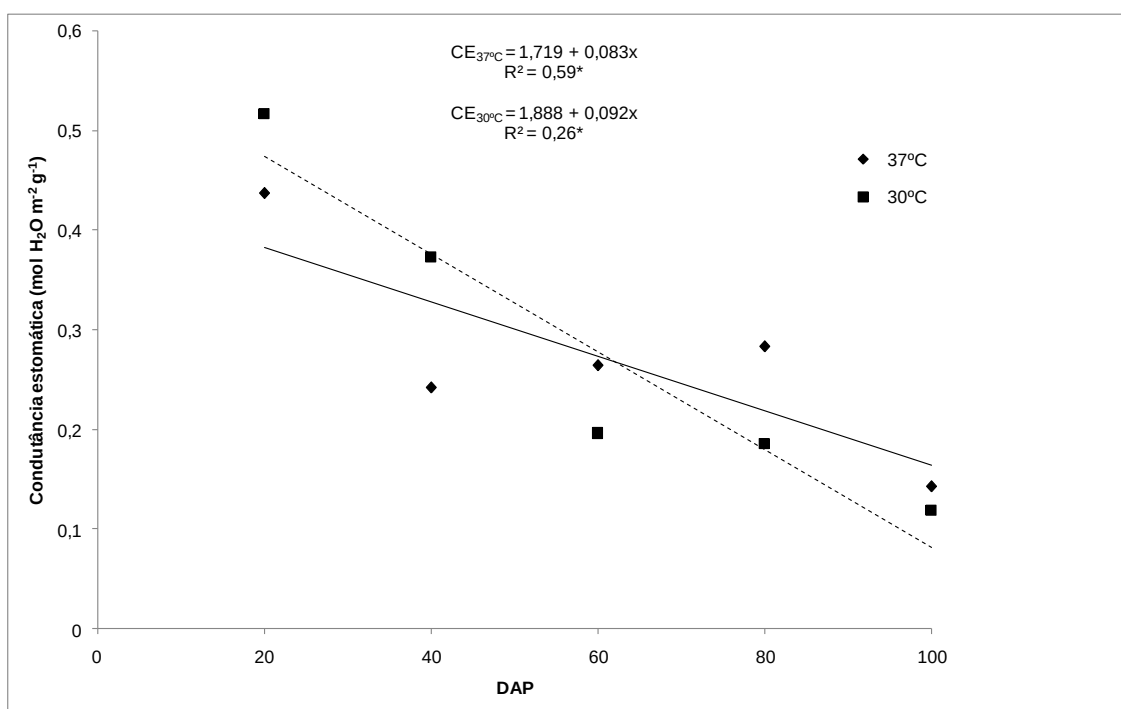


Figura 16. Resposta da condutância estomática em folhas de mamoneira (*R. communis* L.), cv. BRS Energia, em função da temperatura. Campina Grande – PB, 2010.

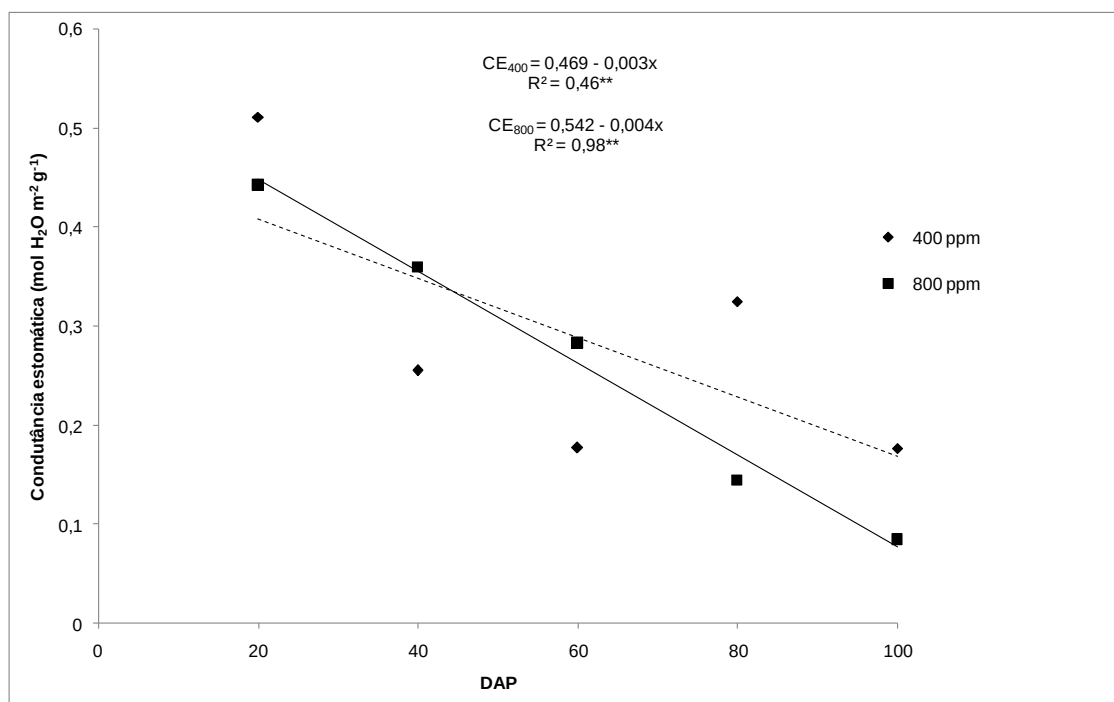


Figura 17. Resposta da condutância estomática em folhas de mamoneira (*R. communis* L.), cv. BRS Energia, em função da concentração de CO₂. Campina Grande – PB, 2010.

4.4. Disruptura da Membrana Celular

O incremento de CO₂ aumentou a permeabilidade da membrana, permitindo um maior extravasamento de eletrólitos celulares à medida que o ciclo avançou apresentando, dessa maneira, maior efeito fragilizador da mesma (**Figura 18**). Observa-se que, aos 40 DAP, houve um aumento do extravasamento em 63% para 800 ppm de CO₂. Aos 60 DAP, foi a concentração normal de CO₂ que favoreceu um aumento na transferência de eletrólitos, na ordem de 44,13% a mais do que em 800 ppm. Aos 80 DAP, essa relação foi novamente invertida, sendo a alta concentração do gás responsável por um aumento de 43,55% no extravasamento em relação à condição normal de CO₂ atmosférico.

Segundo Taiz e Zeiger (2009) e Larcher (2000), o aumento na disponibilidade de CO₂ altera a composição na estrutura de membranas e organelas celulares, levando a mudanças morfológicas e fenológicas na planta. Segundo Hall (2001), membranas mais estáveis apresentam vazamento de

eletrólitos mais lento. O aumento de temperatura pode desnaturar proteínas de membrana, afetando a atividade de enzimas importantes na preservação da integridade da mesma, como as antioxidantes peroxidase, catalase e superóxido dismutase (CREISSEN *et al.*, 1994) e provocar peroxidação dos lipídios de membrana (MISHRA e SINGHAL, 1992; UPADHYAYA *et al.*, 1991). A combinação de tais fatores leva à ruptura da membrana e perda do conteúdo celular (CHAISSOMPONGPAN *et al.*, 1990; HALL, 1993; ABROL e INGRAM, 1996). Um dos fatores que atuam no fechamento estomático é a saída de íons das células-guarda em resposta ao aumento da temperatura (TAIZ e ZEIGER, 2009).

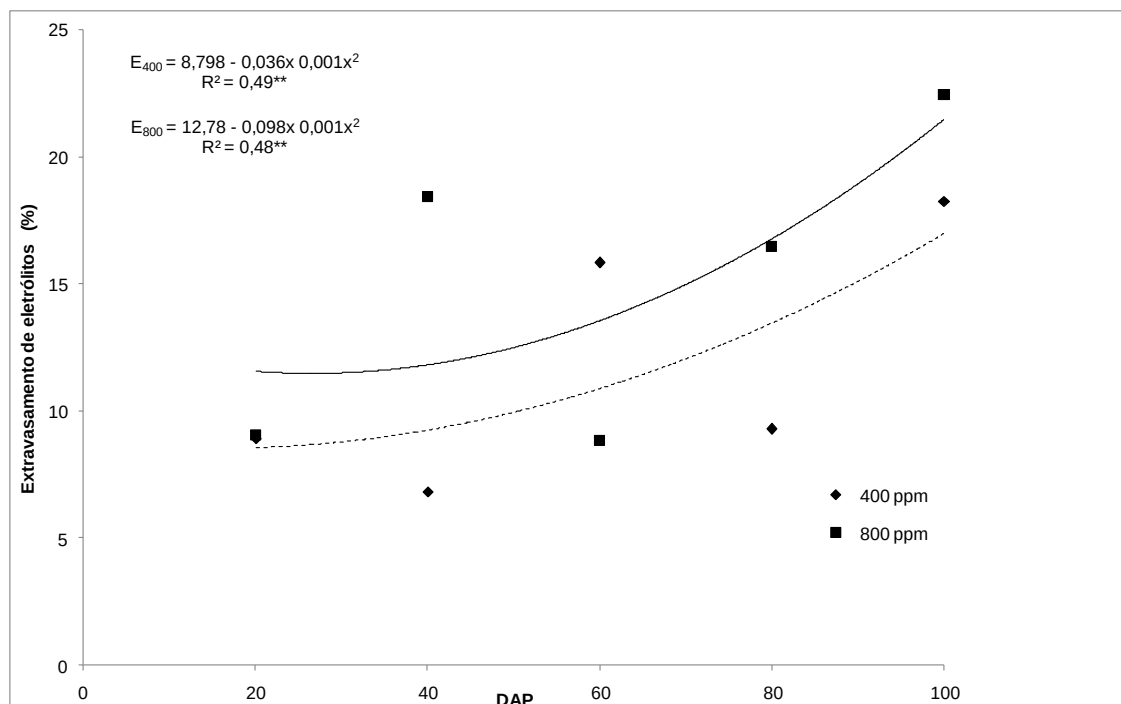


Figura 18. Extravasamento de eletrólitos em folhas de mamoneira (*R. communis* L.), cv. BRS Energia, em resposta à concentração de CO₂. Campina Grande – PB, 2010.

4.5. Concentração de Solutos no Simplasma

O incremento de CO₂ promoveu um maior acúmulo de solutos no simplasma celular diminuindo, dessa maneira, o potencial osmótico da mamoneira (**Figura 19**). A concentração de solutos intercelular apresentou diferença significativa aos 60 DAP, aumentando em 26,15% com o incremento de CO₂.

O incremento de CO₂ pode promover um aumento da temperatura (BUCKERIDGE *et al.*, 2007), pois são fatores intimamente relacionados e em nosso experimento a análise estatística demonstrou que houve interação significativa entre os dois fatores para a concentração de solutos no simplasma. O potencial osmótico depende essencialmente da temperatura e da concentração de solutos (VILLELA *et al.*, 1991) sendo o acúmulo destes últimos verificado em várias espécies (MORGAN, 1984) em resposta às condições estressantes. Os solutos acumulados podem ser glicose, frutose, sacarose, aminoácidos, alcoóis e amônio quaternário, entre outros (MEYER e BOYER, 1981; NASCIMENTO, 2009). Tal mecanismo é denominado ajustamento osmótico (TURNER, 1986; MUNNS, 1988) e exerce a importante função de manter a turgescência celular sob condições de estresse hídrico, permitindo o crescimento celular sob uma condição de potencial hídrico que, de outra maneira, atuaria como inibidor do crescimento (KRAMER e BOYER, 1995). Embora não seja capaz de impedir que a taxa fotossintética caia (JONES e RAWSON, 1979), o ajustamento osmótico ajuda a mantê-la em taxas mínimas, possibilitando, assim, que a redistribuição de carbono e nitrogênio não cesse completamente (KOBATA *et al.*, 1992, PALTA *et al.*, 1994).

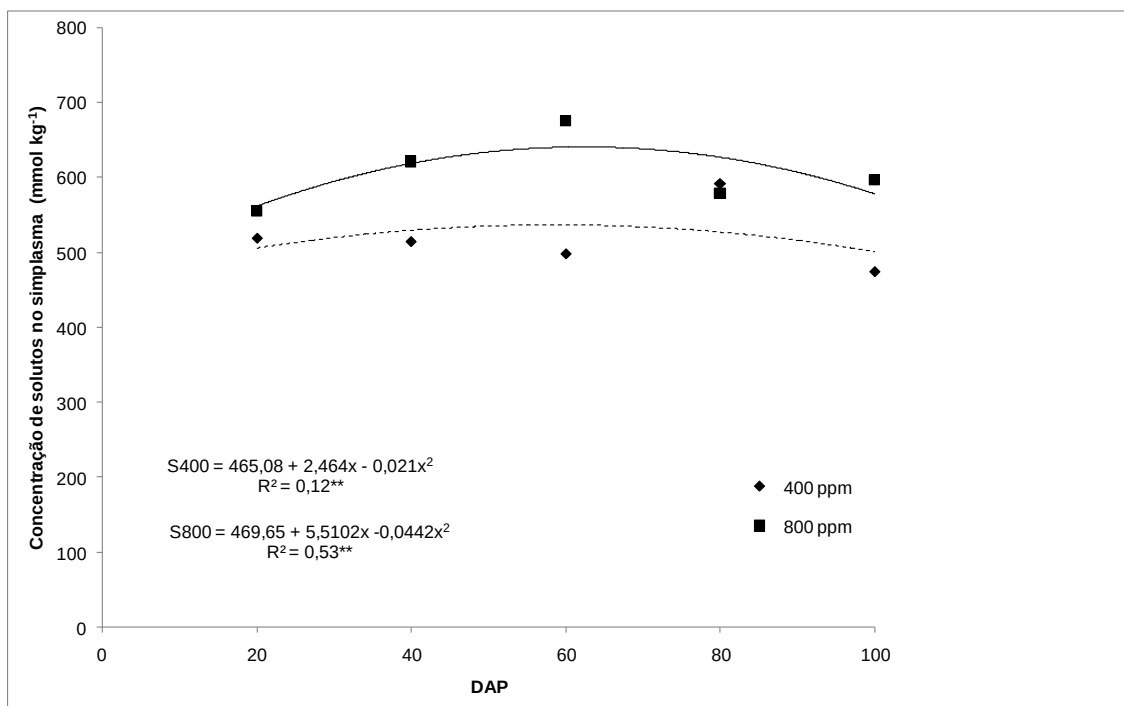


Figura 19. Concentração de solutos no simplasma de células foliares de mamoneira (*R. communis* L.). cv. BRS Energia, em função da concentração de CO₂. Campina Grande – PB, 2010.

4.6. Teor de Pigmentos Fotossintetizantes

Para a concentração de pigmentos fotossintetizantes, constatou-se que o incremento de CO₂ teve efeito significativo nas concentrações de clorofila *a*, *b* e clorofila total (**Tabela 3**). O aumento da temperatura provocou, aos 60 DAP, uma queda de 37,8% no teor de clorofila *a* (**Figura 20**); enquanto que a alta concentração de CO₂ promoveu uma queda significativa aos 60 e aos 80 DAP de 28,02% e 47,62%, respectivamente (**Figura 21**). Portanto, aos 80 DAP a mamoneira, cv. BRS Energia, apresentou a maior queda do teor de clorofila *a* em resposta ao incremento de CO₂.

Tabela 3. Médias para as variáveis teor de clorofila *a*, *b* e clorofila total em folhas de mamoneira submetidas à alta temperatura e elevado nível de CO₂. Campina, Grande – PB, 2010.

Temp	Chl <i>a</i> ($\mu\text{mol m}^{-2}$)		Chl <i>b</i> ($\mu\text{mol m}^{-2}$)		Clorofila Total ($\mu\text{mol m}^{-2}$)	
	CO ₂		CO ₂		CO ₂	
	400 ppm	800 ppm	400 ppm	800 ppm	400 ppm	800 ppm
37°C	215,42 aA	136,35 bB	50,65 aA	40,91 bB	266,07 aA	177,27 bB
30°C	183,52 aB	224,58 aA	49,65 aA	53,61 aA	233,17 bB	267,53 aA

Letras minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, 5% de probabilidade ($0,01 \leq 0,05$). Dados transformados para log (x).

Referente à clorofila *b*, o aumento da temperatura e da concentração de CO₂ favoreceu aumento na concentração do pigmento até os 40 DAP; após este período, seguiu decréscimo na concentração até o final do ciclo (**Figuras 22 e 23**). A queda no teor de clorofila *b*, em resposta ao aumento da temperatura, foi da ordem de 29,48%, aos 60 DAP, e de 55,5%, aos 80 DAP, enquanto que à temperatura normal a concentração do pigmento tendeu à constância, ao longo do ciclo (**Figura 22**). Com o incremento de CO₂, o aumento inicial na concentração da clorofila *b* foi de 27,31%, aos 40 DAP, com posterior queda significativa aos 80 DAP (44,5%) e aos 100 DAP (44,07%) (**Figura 23**).

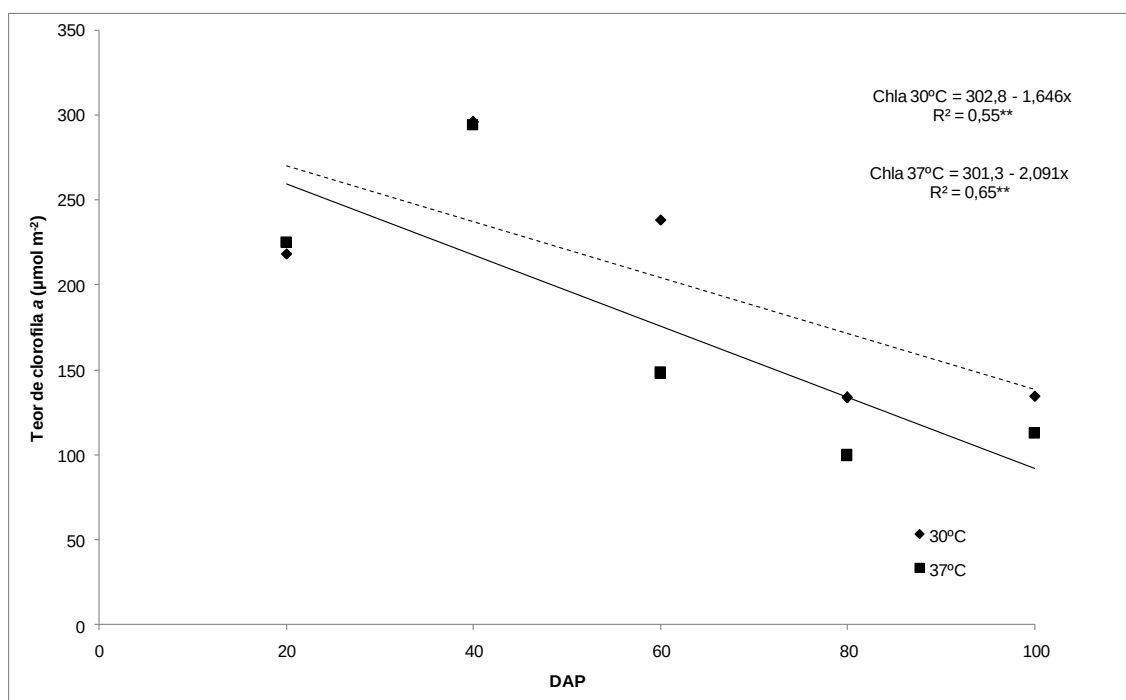


Figura 20. Teor de clorofila a em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta ao aumento da temperatura. Campina Grande – PB, 2010.

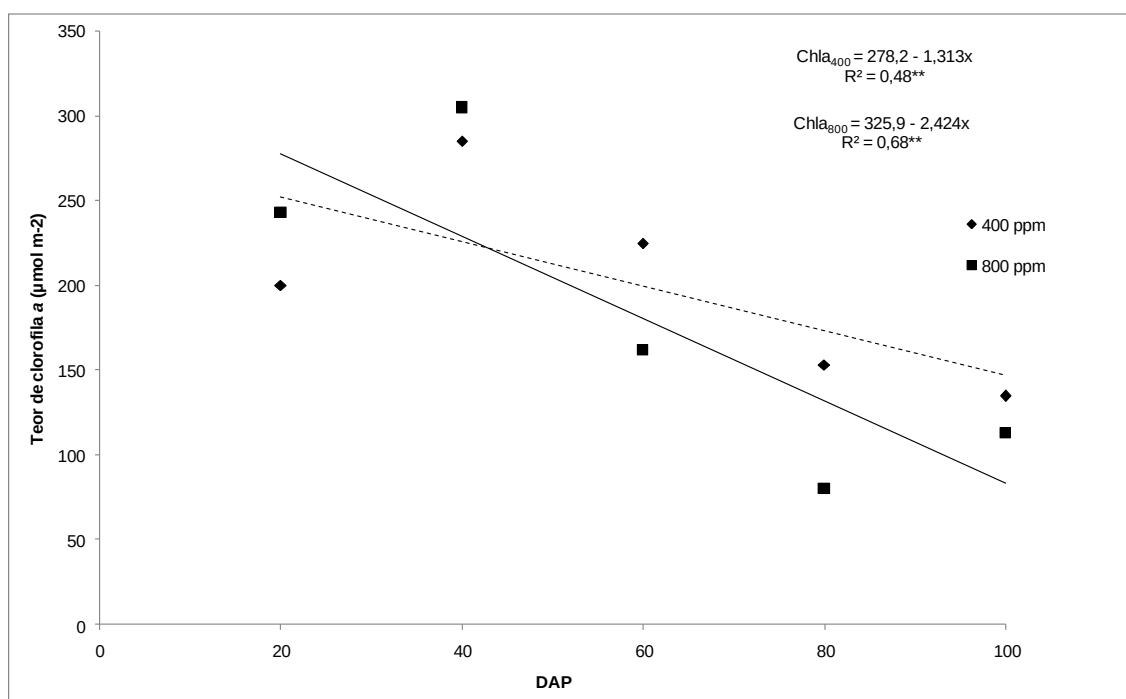


Figura 21. Teor de clorofila a em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta ao incremento de CO₂. Campina Grande – PB, 2010.

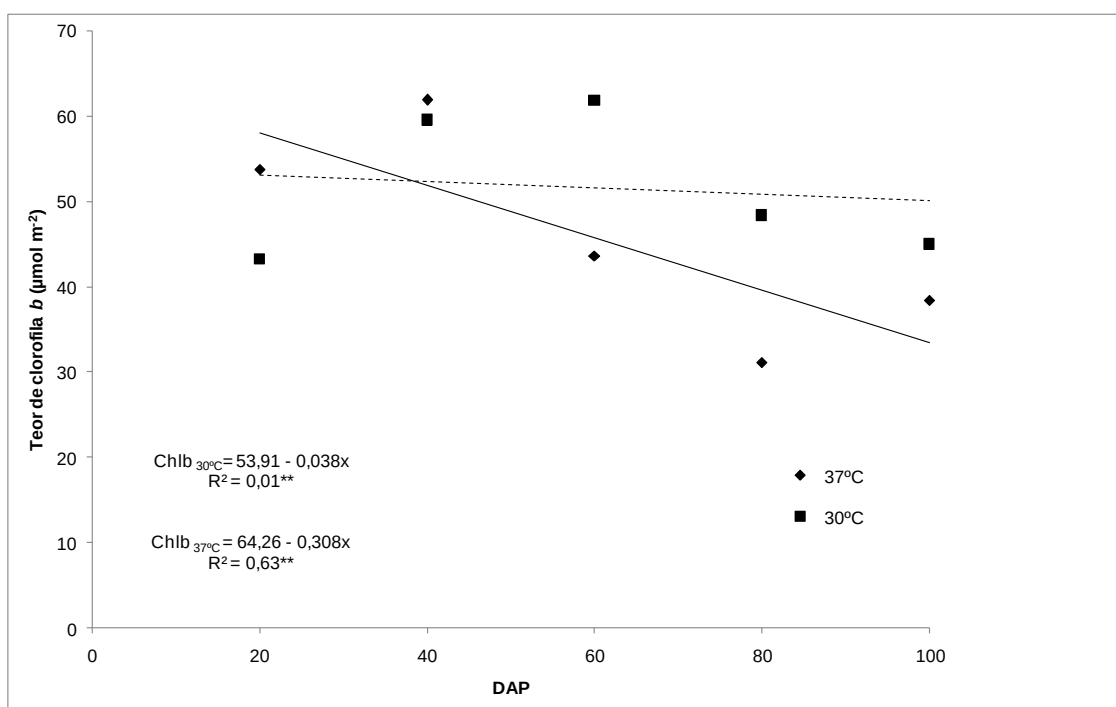


Figura 22. Teor de clorofila *b* em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta ao aumento da temperatura. Campina Grande – PB, 2010.

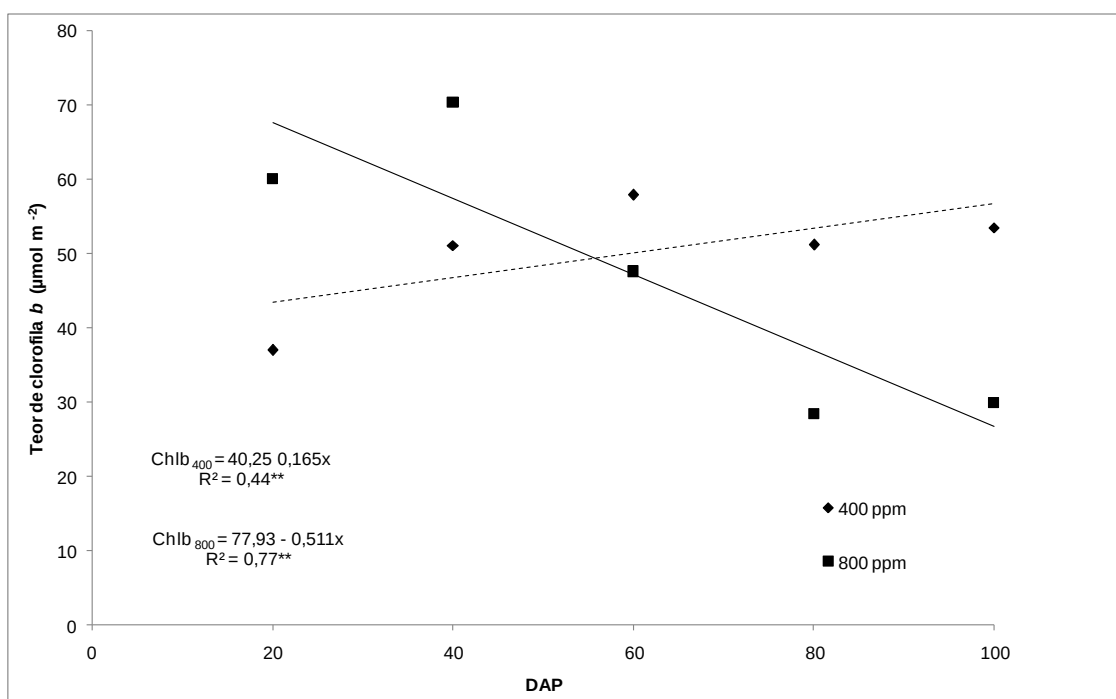


Figura 23. Teor de clorofila *b* em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta ao incremento de CO₂ atmosférico. Campina Grande – PB, 2010.

Quanto ao teor de clorofila total (**Figura 24**), houve uma queda brusca na sua concentração na ordem de 36,09%, aos 60 DAP, e 28,02%, aos 80 DAP, com o aumento da temperatura. Ao final do ciclo, observa-se que, nas duas temperaturas, o teor de clorofila total estava equivalente. Com o incremento de CO₂ (**Figura 25**), houve diferença estatística já no início do ciclo, apresentando um aumento de 21,74% no teor de clorofila total em resposta ao incremento de CO₂. Esse teor sofreu acréscimo aos 40 DAP, nas duas concentrações de CO₂, não diferindo estatisticamente. Nas coletas seguintes, houve decréscimo em resposta ao incremento de CO₂, na ordem de 25,32%, 46,84% e 38,32%, aos 60, 80 e 100 DAP, respectivamente.

Segundo Hendry e Price (1993) a determinação do teor dos pigmentos fotossintéticos pode ser uma importante ferramenta no diagnóstico de estresse em plantas.

Conforme supracitado, o estresse térmico está intimamente relacionado ao estresse hídrico e luminoso (LARCHER, 2000). Portanto, a radiação excessiva é capaz de sobrecarregar o aparato fotossintético, provocando fotoinibição e formação de compostos danosos ao metabolismo (radicais de oxigênio - ROs) os quais, além de provocarem os danos já descritos, podem ainda degradar os pigmentos fotossintéticos ao comprometer a integridade da membrana (TAIZ e ZEIGER, 2009; SCANDALIOS, 1993; NETTO, 2005).

Netto (2005) e Chaves *et al.*, (2003) afirmam ainda que o decréscimo na concentração de pigmentos fotossintetizantes pode ser interpretado não como um dano, mas como uma estratégia da planta para reduzir a captura de energia luminosa em oferta excessiva. Apesar de reduzir a eficiência fotossintética e o acúmulo de biomassa, tal estratégia previne a planta de danos irreversíveis.

Segundo Marler *et al.* (1994), a própria senescência acelerada, precedida de clorose, é uma estratégia adaptativa importante em condições climáticas adversas.

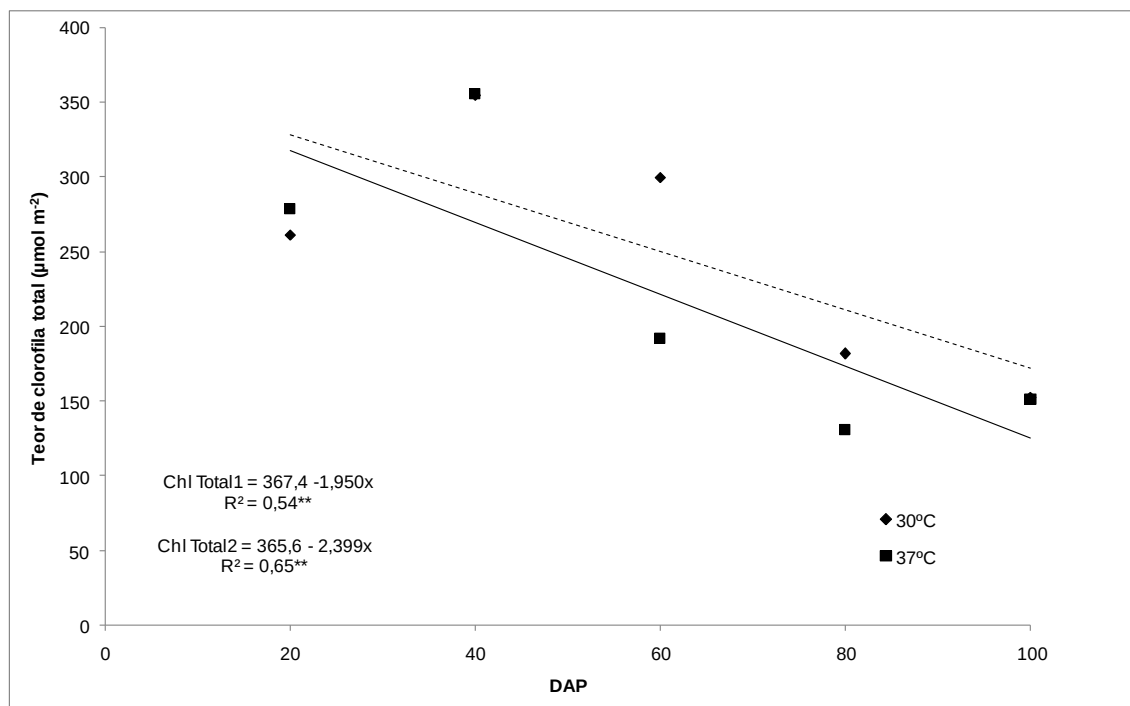


Figura 24. Teor de clorofila total em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta a temperatura. Campina Grande – PB, 2010.

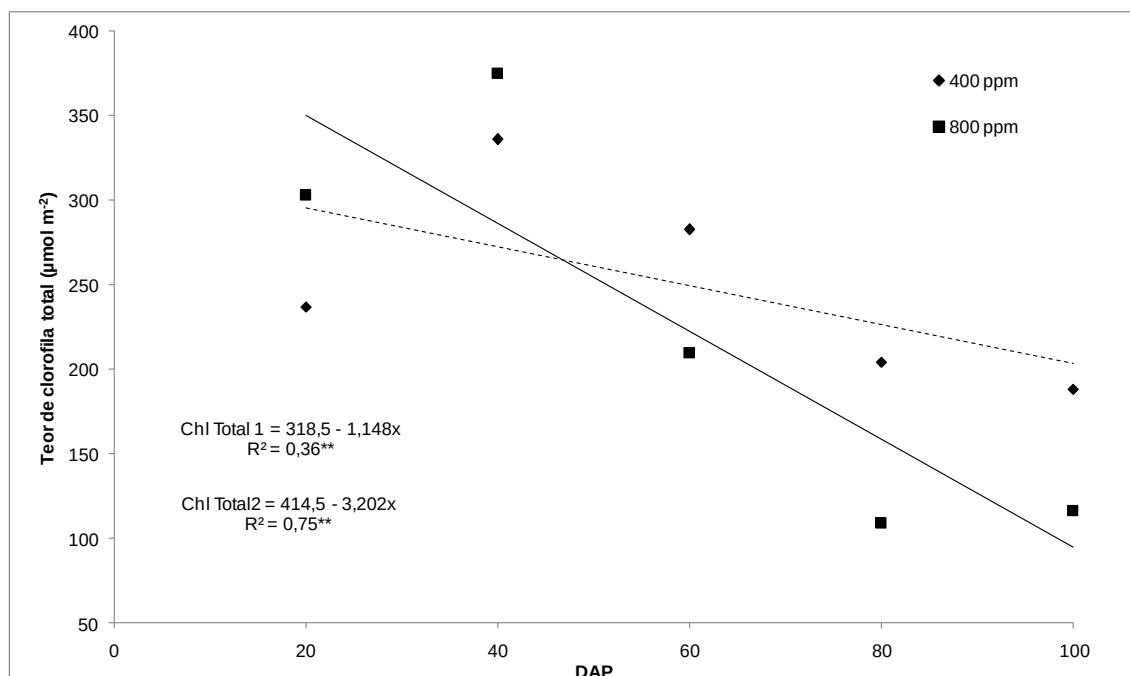


Figura 25. Teor de clorofila total em folha de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta ao incremento de CO_2 . Campina Grande – PB, 2010.

5.7. Teor de Carboidratos Solúveis

A alta concentração de CO₂ promoveu o acúmulo de carboidratos nas raízes de mamoneira de maneira significativa aos 40 DAP, aumentando o teor de carboidratos em 81,95% em relação à concentração normal de CO₂ (**Figura 26**). Porém, aos 80 DAP, observa-se uma queda no teor de carboidratos de raiz, em 800 ppm de CO₂, na ordem de 71,86%. Chaves Filho e Stacciarini-Seraphin (2001) e Marur (1999) descrevem aumento no teor de carboidratos associado à diminuição do potencial hídrico em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) e algodão, respectivamente.

Os principais açúcares solúveis em vegetais são a glicose, frutose e sacarose (BEZERRA NETO e BARRETO, 2004), sendo este último o principal açúcar exportado dos locais de síntese (folhas) para as regiões de consumo (caule, gemas vegetativas, raízes e órgãos reprodutivos), onde é utilizada para crescimento e/ou armazenamento (KINGSTON-SMITH *et al.*, 1999).

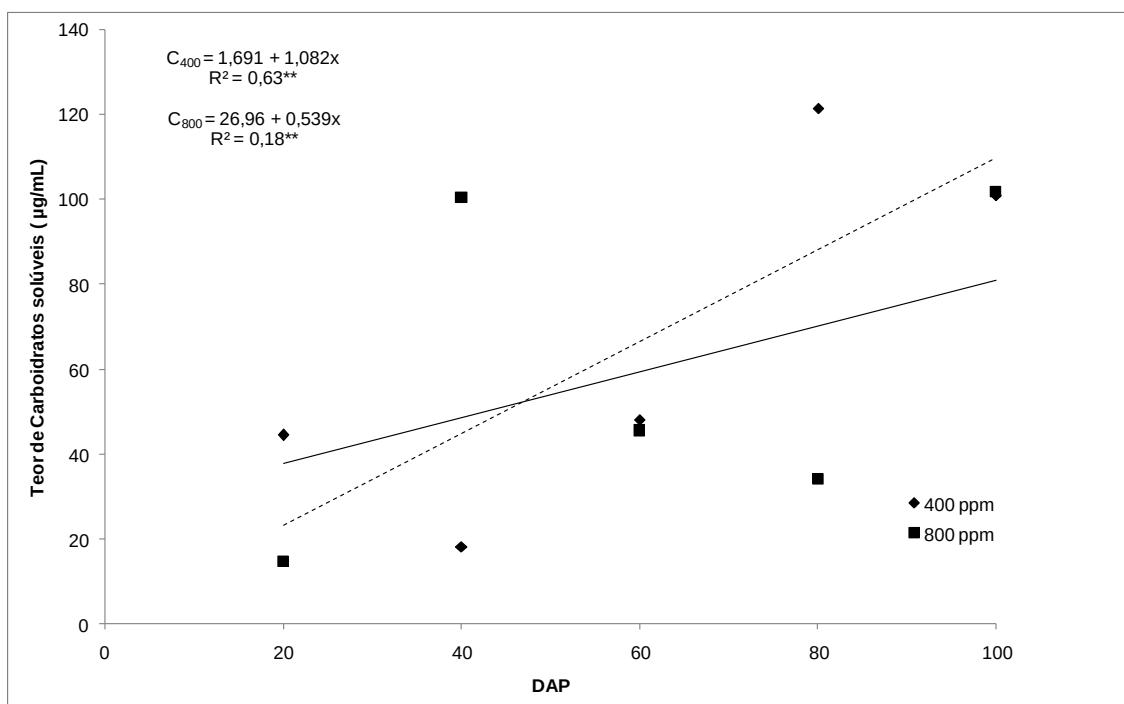


Figura 26. Teor de carboidratos em raiz de mamoneira (*R. communis* L.) em resposta à concentração de CO₂. Campina Grande – PB, 2010.

6.0. CONCLUSÕES

6.1. GERAL

A mamoneira (*Ricinus communis* L.), cultivar BRS Energia, caracteristicamente de ciclo precoce de 100 a 120 dias em condições de plantio de sequeiro no semiárido brasileiro, quando cultivada em atmosfera com elevada concentração de dióxido de carbono (800 ppm) e temperatura supraótima (37°C) apresentou alterações significativas no crescimento e desenvolvimento. Nas fases iniciais do crescimento a cultivar se beneficiou com o incremento na temperatura e na concentração de CO₂; entretanto, no final do ciclo, ambos os fatores, de maneira independente na maioria das análises, promoveram reduções no metabolismo e no crescimento das plantas, havendo apenas algumas interações significativas entre os mesmos. Verificaram-se alterações negativas na fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática, integridade da membrana celular, concentração de solutos no simplasma, teores de pigmentos fotossintetizantes (clorofila *a*, *b* e clorofila total) e de carboidratos solúveis, em comparação à condição média ambiental da atualidade para a região nordeste brasileira: 30°C e 400 ppm de CO₂ atmosférico.

6.2. ESPECÍFICAS

Quando cultivada em alta temperatura e elevado nível de CO₂, a mamoneira, cv. BRS Energia apresentou:

- Uma aceleração na taxa de desenvolvimento em aproximadamente 25% em resposta à alta concentração de CO₂;
- Uma redução na altura do caule de 54,26% em resposta à alta concentração de CO₂;

- Uma queda na fotossíntese líquida de 83,64% em resposta ao aumento da concentração de CO₂, quando em concentração normal essa queda foi de 36,53%, do início do ciclo até o final;
- Uma queda na taxa de transpiração de 79,13% em 800 ppm de CO₂ atmosférico, versus 46,79% em concentração ambiente normal (400 ppm);
- Uma queda significativa na condutância estomática de 35,15%, aos 40 dias após o plantio, em resposta ao aumento da temperatura; e de 72,48%, aos 80 dias após o plantio, com o aumento da concentração de CO₂;
- Danos nas membranas celulares, contribuindo para um aumento do extravasamento de eletrólitos em 18,6% em relação ao controle;
- Um aumento na concentração de solutos no simplasma celular quando cultivada em 800 ppm de CO₂ reduzindo, assim, o potencial osmótico, sendo este aumento significativo aos 60 dias após o plantio, em 26,15%;
- Uma queda significativa nos teores de pigmentos fotossintetizantes em resposta à interação dos fatores temperatura surpaótima e elevado nível de CO₂ atmosférico, em aproximadamente 24% para clorofila total;
- Um aumento na concentração de carboidratos solúveis na raiz em 81,95%, aos 40 dias após o plantio, com posterior queda aos 80 dias após o plantio, na ordem de 71,86%, apresentando-se, ao final do ciclo, com teores equivalentes nas duas concentrações de CO₂ estudadas.

7.0. REFERÊNCIAS

- ABROL, Y. P. INGRAM, K. I. **Global climate change and agricultural production**. Direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes. 1996. Disponível em: <www.fao.org/docrep/w5183e/w5183e08.htm>. Acesso em: 10 mar. 2011.
- AIDAR, M. P. M. MARTINEZ, C. A. COSTA, A. C. COSTA, P. M. F. DIETRICH, S. M. C. BUCKERIDGE, M. S. Effect of Atmospheric CO₂ Enrichment on The Establishment of Seedlings of Jatobá, *Hymenaea courbaril* L. (*Leguminosae*, *Caesalpinioideae*). **Biota Neotropica**, v. 2, n. 1, 2002. Disponível em <<http://www.biotaneotropica.org.br/v2n1/pt/abstract?article+BN01602012002>>. Acesso em: 23 fev. 2011.
- ALCAMO, J. KREILEMAN, G.J. J. BOLLEN, J. C. VAN DEN BORN, G. J. GERLAGH, R. KROL, M. S. TOET, A. M. C. DE VRIES, H. J.M. Baseline scenarios of global environmental change. **Global Environmental Change**, v. 6, p. 261-303, 1996.
- AL-KHATIB, K. PAULSEN, G. M. High-temperature effects on photosynthetic processes in temperate and tropical cereals. **Crop Science**, v. 39, p. 119-125, 1999.
- ALLEN JR, L. H. BISBAL, E. C. CAMPBELL, W. J. BOOTE, K. J. Carbon dioxide effects on soybean developmental stages and expansive growth. **Proceedings - Soil and Crop Science Society of Florida**, v. 49, p. 124-131, 1990.
- AMORIM, L. S. LUCENA, C. OLIVEIRA, M. I. P. de SILVA, D. M. A. BELTRÃO, N. E. de M. Contribuições da mamoneira na mitigação às mudanças climáticas. **III Congresso Brasileiro de Mamona – Energia e Ricinoquímica**. 2008. (cd-room)
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Maryland, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.
- ÁVILA, A. M. H. de. Uma Síntese do Quarto Relatório do IPCC. **Revista Multiciência**. 8. ed. Campinas – SP: maio, p. 163-168, 2007.
- AZEVEDO, D. M. P. LIMA, E. F. **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina Grande - PB), 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, 350p.
- BAKER, J.T. ALLEN JR., L.H. BOOTE, K.J. JONES, P. JONES, J.W. Response of soybean to air temperature and carbon dioxide concentration. **Crop Science**, v. 29, pp. 98–105, 1989.

BANNAYAN, M. KOBAYASHI, K. KIM, H.Y. LIFFERING, M. OKADA, M. MIURA, S. Modeling the interactive effects of atmospheric CO₂ and N on rice growth and yield. **Field Crop Research**, v. 93, p. 237–251, 2005.

BELTRÃO, N. E. de M. AZEVÊDO, D. M. P. **Defasagem entre as produtividades real e potencial no algodoeiro herbáceo: limitações morfológicas, fisiológicas e ambientais**. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 1993. (Documentos 39).

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 - PB, n. 31, p.7, 1999.

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

BELTRÃO, N. E. de M. SOUZA, J. G. De. SANTOS, J. W. dos. JERÔNIMO, J. F. COSTA, F. X. LUCENA, A. M. A. de. QUEIROZ, U. C. de. Fisiologia da mamoneira, cultivar BRS 149 Nordestina, na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**. Campina Grande – PB, v.7. n.1, p. 659-664, 2003b.

BELTRÃO, N. E. de M. CARTAXO, W. V. PEREIRA, S. R. de P. SOARES, J. J. SILVA, O. R. R. **O Cultivo Sustentável da Mamona no Semiárido Brasileiro**. Cartilha 1. EMBRAPA Algodão: Campina Grande, 2006. 62p.

BELTRÃO, N. E. de M. AZEVEDO, D. M. P. de. COSTA, F. X. Fisiologia da Mamoneira. 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, 2007.

BELTRÃO, N. E. de M. OLIVEIRA, M. I. P. Efeitos do Clima no Metabolismo Vegetal: Mamona. **Documentos 210**. Campina Grande - PB: EMBRAPA Algodão, 2008. 23p.

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

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas** (noções básicas). 2. Ed. Jaboticabal - SP: FUNEP, 2003. 41p.

BEZERRA NETO, E. BARRETO, L. P. **Métodos de Análises Químicas em Plantas**. Recife-PE: Imprensa Universitária, 2004. p. 31-36.

BHATTACHARYA, S. BHATTACHARYA, N. C. BISWAS, P. K. STRAIN, B. R. Response of cow pea (*Vigna unguiculata* L.) to CO₂ enrichment environment on growth, dry-matter production and yield components at different stages of

vegetative and reproductive growth. **Journal of Agricultural Science** (Camb.). v. 105, p. 527–534, 1985.

BLOOM, A.J. Rising carbon dioxide concentrations and the future of crop production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 9, p. 1289–1291, 2006.

BIODIESELBR. Tudo Sobre Mamona. Disponível em <<http://www.biodieselbr.com/plantas/mamona/especial.htm>>. Acesso em 18 fev. 2011.

BUCKERIDGE, M. S. MORTARI, L. C. MACHADO, M. R. Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema? IN: REGO, G. M. NEGRELLE, R. R. B. MORELLATO, L. P. C. **Fenologia** - Ferramenta para conservação e manejo de recursos vegetais arbóreos (Editores Técnicos). Colombo - PR: Embrapa Florestas, 2007.

CARTAXO, W. V. PEREIRA, S. R de P. BELTRÃO, N. E. de M. SILVA, O. R. R. F. da. SEVERINO, L. S. **BRS Paraguaçu e BRS Nordestina – Tecnologia Embrapa para o Semiárido Brasileiro**. Campina Grande – PB: 2004. (Folder).

CHAISSOMPONGPAN, N. LI, P. H. DAVIS, D. W. MACKHART, A. H. Photosynthetic responses to heat stress in common bean genotypes differing in heat acclimation potential. **Crop Science**, v. 30, p.100-104, 1990.

CHAVES FILHO, J. T. STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo - SP, v. 24, n. 2, jun., p. 199-204, 2001.

CHAVES, M. M. MAROCO, J. PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, p. 239-264, 2003.

CONAB, Conjuntura Mensal – Mamona – Período dezembro de 2010. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_12_17_17_23_51_ma_monadezembro2010..pdf>. Acesso em 17 fev. 2011.

CONN, E.E.; STUMPF, P.K. **Introdução a bioquímica**. São Paulo - SP: Edgard Blucher, 1980. 525p.

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**, São Paulo - SP, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

COX, P. M. BETTS, R. A. JONES. C. D. SPALL, S. A. TOTTERDELL, I. J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**. v. 408, pp. 184-187, nov, 2000.

CREISSEN, G.P. BROADBENT, P. KULAR, B. REYNOLDS, H. WELLBURN, A.R. MULLINEAUX, P.M. Manipulation of glutathione-reductase in transgenic plants—implications for plants responses to environmental-stress. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section B – Biological Science**, v. 102, p. 167-175, 1994.

DELGADO, E. MITCHEL, R. A. C. PARRY, M. A. C. DRISCOLL, S. P. MITCHEL, V. J. LAWLOR, D. W. Interacting effect of CO₂ concentration, temperature and nitrogen supply on the photosynthesis and composition of winter wheat leaves. **Plant Cell Environ**. v. 17, pp.1205–1213, 1994.

DEMMIG-ADAMS, E. ADAMS, W. W. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. **Trends in Plant Science**, v. 1, n. 1, p. 21-26, 1996.

DRUMOND, M. A. ANJOS, J. B. dos. MORGADO, L. B. BELTRÃO, N. E. de. M. SEVERINO, L. S. **Cultivo da Mamoneira para o Semiárido Brasileiro**. Petrolina – PE: Embrapa Semiárido, 2008, 14p. (Circular Técnica 85). ISSN 1808-9976. Disponível em http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/public_eletronica/downloads/CTE85.pdf>. Acesso em 18 fev. 2011.

FARIA, T. SILVERIO, D. BREIA, E. CABRAL, R. ABADIA, A. ABADIA, J. PEREIRA, J. S. CHAVES, M. M. Differences in the response of carbon assimilation to summer stress (water deficits, high light and temperature) in four Mediterranean tree species. **Physiologia Plantarum**, v. 102, n. 3, p. 419-428, 1998.

FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica . In: AZEVEDO, D. M. P. de. LIMA, E. F. (Ed. Tec.). **O Agronegócio da Mamona no Brasil**. Embrapa Algodão (Campina Grande - PB). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 295 -335.

FURLAN JUNIOR, J. KALTER, F. J. AZEVEDO, G. F. P. CAMPOS, I. A. Biodiesel, porque tem que ser dendê. Belém - PA: Embrapa Amazônia Ocidental, Palmasa, 2006, 205p.

GIFFORD, R. M. The effect of the build-up of carbon dioxide in the atmosphere on crop productivity. **Proceedings of the Fifth Australian Agronomy Conference**, Perth, WA. p. 312-322, 1989.

GRIFFIN, K. L. SEEMANN, J. Plants, CO₂ and photosynthesis in the 21st century. **Chemistry & Biology**, v. 3, pp. 245-254, 1996.

GITAY, H. SUÁREZ, A. WATSON, R. T. DOKKEN, D. J. Climate change and

biodiversity. **Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPPC)**. Technical paper V. United Nations Environment Programme/World Meteorological Organization, Geneva, 2002.

HACOUR, A. CRAIGON, J. VANDERMEIREN, K. OJANPERÄ, K. LEIJEL, H. DANIELSSON, H. HÖGY, P. FINNAN, J. BINDI, M. CO₂ and ozone effects on canopy development of potato crops across Europe. *European Journal of Agronomy*, v. 17, p. 257–272, 2002.

HALL, A. E. Breeding For Heat Tolerance. **Plant Breed Res**, v. 10, p. 129-168, 1993.

HALL, A. E. **Heat Stress and its Impact**. 2001. Disponível em: <http://www.plantstress.com/Articles/heat_i/heat_i.htm>. Acesso em: 10 mar. 2011.

HALL, D. O. Carbon flows in the biosphere: present and future. **Journal of the Geological Society**, Alexandria, p. 175-181. v.146. February, 1989.

HENDRY, G. A. F. PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F. GRIME, J. P. (eds). **Methods in comparative plant ecology**. London: Chapman e Hall, p.148-152, 1993.

HISCOX, J. D. ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, p. 1332-1334, 1979.

IDSO, S. B. KIMBALL, B. A. ANDERSON, M. G. MOUNEY, JR. Effects of atmospheric CO₂ enrichment on plant growth; the interactive role of air temperature. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 20, p. 1-10, 1987.

IDSO, S. B. KIMBALL, B. A. Seasonal fine-root biomass development of sour orange trees grown in atmospheres of ambient and elevated CO₂. **Plant, Cell & Environment**, v. 15, p. 337-341, 1992.

IMAI, K. COLEMAN, D.F. YANAGISAWA, I. Increase in atmospheric partial pressure of carbon dioxide and growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). **Crop Science**, v. 54, p. 413–418, 1985.

IPCC. Climate change impacts, adaptation and vulnerability - working group II. In: **CLIMATE CHANGE 2007**, Valencia, AR4: Summary for Policymakers. Valencia, 2007. Disponível em: <<http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2007gl/index.htm>>. Acesso em: 21 abr. 2008.

JONES, M. M. RAWSON, H. M. Influence of the rate of development of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency, and osmotic potential in sorghum. **Physiologia Plantarum**, v. 45, p.103-111, 1979.

- KIMBALL, B.A., KOBAYASHI, K., BINDI, M. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. **Advances in Agronomy**, v. 77, 293–368, 2002.
- KINGSTON-SMITH, A. H. WALKER, R. P. POLLOCK, C. J. Invertase in leaves: conundrum or control point? **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 735-743, 1999.
- KOBATA, T. PALTA, J. A. TURNER, N. C. Rate of development of postanthesis water deficits and grain filling in spring wheat. **Crop Science**, v. 32, p. 1238-1242, 1992.
- KRAMER, P. J. BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Newark: Academic Press, 1995. Disponível em: <<http://dspace.udel.edu:8080/dspace/handle/19716/2830>>. Acesso em: 10 mar. 2011.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos - SP: RiMa, 2000. p.108-111, 140-142, 301-303, 365, 414, 437-439,
- LAWLOR, D. W. MITCHEL, R. A. C. Crop ecosystem responses to climatic change: wheat. In: REDDY, K.K., HODGES, H.F. (Eds.), **Climate Change and Global Crop Productivity**. CAB International, Wallingford, UK, p. 57–80, 2000.
- LI, A. G. TRENT, A. WALL, G. W. KIMBALL, B. A. YUE-SHENG, H. PINTER JR., P. J. GARCIA, R. L. HUNSAKER, D. V. LAMORTE, R. L. Free-air CO₂ enrichment effects on rate and duration of apical development of spring wheat. **Crop Science**, v. 37, p. 789–796, 1997.
- LIMA, A. L. S. DAMATTA, F. M. PINHEIRO, H. A. TOTOLA, M. R. LOUREIRO, M. E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 47, p. 239-247, 2002.
- MAGALHÃES, A. C. N. Fotossíntese. In: FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal 1**. v.1. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1983. pp.117-166.
- MALHI, Y. PHILLIPS, O. L. Tropical forests and global atmospheric change: a synthesis. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Mathematical, physical and Engineering Sciences, v. 359, p. 549-555, 2004.
- MARLER, T. E. GEORGE, A. P. NISSEN, R. J. ANDERSEN, P. C. Miscellaneous tropical fruits. In: SCHAFFER, B. ANDERSEN, P. C. (eds). Handbook of environmental physiology of fruit crops. **Sub-tropical and Tropical Crops**. CRC Press, Boca Raton, v. 2, 1994. 310p.
- MARTINS E. R. CASTRO D. M. CASTELLANI, D. S. DIAS, E. J. **Plantas medicinais**. Viçosa - MG: UFV, 1994. 220p.

MARUR, C.J. Curvas pressão-volume e expansão foliar em cultivares de algodoeiro submetidos a déficit hídrico. **Scientia Agricola**, Piracucaba – SP: v. 56, p. 563-569, 1999.

MAUNEY, J. R. GUINN, G. FRY, K. E. HESKETH, J. D. Correlation of photosynthetic carbon dioxide uptake and carbohydrate accumulation in cotton, soybean, sunflower, and sorghum. **Photosynthetic**, v. 13, p. 260-266, 1979.

MAURY, P. MOJAYAD, F. BERGER, M. PLANCHON, C. Photochemical response to drought acclimation in two sunflower genotypes. **Physiologia Plantarum**, v. 98, n. 1, p. 57-66, 1996.

McCREADY, R. M. GUGGOLZ, J. SILVEIRA, V. OWENS, H. S. Determination of starch and amylase in vegetables. Application to peas. **Analytical Chemistry**. Washington - DC: v. 22, p. 1156-1158, 1950.

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.

MEYER, R.F. BOYER, J. S. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. **Planta**, v. 151, p. 482-489, 1981.

MILANI, M. Embrapa desenvolve nova espécie de mamona voltada para o biodiesel. **Jornal da Paraíba**, 16 de julho de 2007. Disponível em < <http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/embrapa-desenvolve-nova-especie-mamona-16-07-07.htm>>. Acesso em: 18 fev. 2011.

MILANI, M. **BRS Energia**. 3ª ed. Campina Grande – PB: Embrapa Algodão, 2010. (Folder).

MISHRA, R. K. SINGHAL, G. S. Function of photosynthetic apparatus of intact wheat leaves under high light and heat stress and its relationship with thylakoid lipids. **Plant Physiol.**, v. 98, p. 1-6, 1992.

MORGAN, J. M. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 35, p. 299-319, 1984.

MOTA, F. S. da. **Meteorologia agrícola**. 7. ed., 3. reimp. São Paulo: Nobel, 1989. 376p. (Biblioteca Rural).

MUNNS, R. Why measure osmotic adjustment? *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 15, p. 717-726, 1988.

NASCIMENTO, J. L. **Crescimento e Assimilação de Carbono em Plantas Jovens de *Attalea funifera* Mart. Submetidas ao Sombreamento e ao Estresse Hídrico**. 2009. 110f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2009.

- NETTO, Alena Torres. **ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS E RELAÇÕES HÍDRICAS EM**. 2005. 140 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2005.
- NEWMAN, Y. C. SOLLENBERGER, L. E. BOOTE, K. J. ALLEN JR., L. H. LITTELL, R. C. Carbon dioxide and temperature effects on forage dry matter production. **Crop Science**, v. 41, pp. 399–406, 2001.
- ORTOLANI, A. A. TARIFA, J. R. **Recursos Hídricos e Agricultura no Brasil**. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. São Paulo: EDISER, 1978, p.75-83 (Projetos 3).
- PACHECO, A.C. Mamoneira (*Ricinus communis*). In: CASTRO, P. R. C. KLUGE, R. A. SESTARI, I. (Org.). **Manual de Fisiologia Vegetal: Fisiologia de Cultivos**. 1 ed. Piracicaba - SP: Editora Agronômica Ceres, 2008, p. 315-335.
- PALTA, J. A., KOBATA, T. TURNER, N. C. FILLERY, I. R. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. **Crop Science**, v. 34, p.118-124, 1994.
- PASSIOURA, J. B. Water in the soil-plant-atmosphere continuum. In: LANGE, O. L. NOBEL, P. S. OS-MOND, C. B. ZIEGLER, H. eds. **Physiological plant ecology**. II. Water relations and carbon assimilation. Berlin, Springer-Verlag, v. 12B, p. 5-33, 1982. (Encyclopedia of plant physiology).
- PINHEIRO, H. A. SILVA, J. V. ENDRES, L. FERREIRA, V. M. CÂMARA, C. A. CABRAL, F. F. OLIVEIRA, J. F. CARVALHO, L. W. T. FONSECA, F. K. P. SANTOS, J. M. Alterações na fotossíntese e nos teores de pigmentos cloroplastídicos em plântulas de mamona cultivadas sob condições de salinidade. Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel. 1. 2006. Brasília – DF: 2006, p. 41-45. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/agricultura/AlteracoesFotosintese.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2011.
- PRADO, C. H. B. A. MORAES, J. A. P. V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. **Photosynthetica**, v. 33, n. 1, p. 103-112, 1997.
- RAWSON, H. M. Plant responses to temperature under conditions of elevated CO₂. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 40, p. 473-490, 1992
- RAWSON, H. M. Yield response of two wheat genotypes to carbon dioxide and temperature in field studies using temperature gradient tunnels. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 22, p. 23-32, 1995.
- RAWSON, H.M. Plant responses to temperature under conditions of elevated CO₂. *Australian Journal of Botany*, v. 40, p. 473–490, 1992.

REDDY, K.R. HARRY, H.F. MCKINION, J.M. Carbon dioxide and temperature effects on pima cotton development. **Agronomy Journal**, v. 87, p. 820–826, 1995.

REDDY, K. R. PRASAD, P. V. KAKANI, V. G. Crop responses to elevated carbon dioxide and interactions with temperature: cotton. **Journal Crop Improve**, v. 13, p. 157–191, 2005.

SAGE, R.F. How terrestrial organism sense, signal, and response to carbon dioxide. **Integrative and Comparative Biology**, v. 42, p. 469-480, 2002.

SANTOS, R. F. dos. KOURI, J. Aspectos econômicos do agronegócio da mamona no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2., 2006, Aracajú. **Anais...** Campina Grande - PB: Embrapa Algodão, 2006. 1 CD-ROM.

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, 2007.

SAVY FILHO, A. CASTRO, O. M. BANZATTO, N. V. Efeito da compactação de solo sobre o desenvolvimento da mamoneira (*Ricinus communis* L.). **Revista de Agricultura**, v. 64, n. 3, p. 229-239, 1989.

SCANDALIOS, J. G. Oxygen Stress and Superoxide Dismutases. **Plant Physiology**, v. 101, p. 7-12, 1993.

SCOTTI CAMPOS, P. THU PHAN THI, A. Effect of abscisic acid pretreatment on membrane leakage and lipid composition of *Vigna unguiculata* leaf discs subject to ormotic stress. **Plant Science**, v. 130, p. 11-18, 1997

SEVERINO, L. S. CARDOSO, G. D. VALE, L. S. SANTOS, J. W. **Método para Determinação da Área Foliar da Mamoneira**. Campina Grande - PB: EMBRAPA Algodão, 2005. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 55).

SILVA, W. J. Aptidões climáticas para as culturas do girassol da mamona e do amendoim. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte - MG, v. 7. n. 82, 1981.

SOUZA, G.M. BUCKERIDGE, M.S. Sistemas complexos: novas formas de ver a Botânica. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 3, p. 407-419, 2004.

SOUZA, R. P. MACHADO, E. C. SILVA, J. A. B. LAGOA, A.M.M.A. SILVEIRA, J.A.G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v. 51, p. 45-56, 2004.

STREET, H. E. OPIK, H. **Fisiologia das angiospermas**: crescimento e desenvolvimento. São Paulo - SP: Polígono, 1974. 315p.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TURNER, N.C. Adaptation to water deficits: A changing perspective. **Journal of Plant Physiology**, Australian, v. 13, p.175-190, 1986.

UPADHYAYA, A. DAVIS, T. D. SANKHLA, M. Heat shock tolerance and anti-oxidant activity in moth bean seedlings treated with tetayclasis. **Plant Growth Regulation**, v. 10, p. 215-222, 1991.

VILLELA, F. A. DONI FILHO, L. SEQUEIRA, E. L. Tabela de Potencial Osmótico em Função da Concentração de Polietileno Glicol 6.000 e da Temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília - DF: v. 26, nov/dez, p.1957-1968, 1991.

WALKER, D. The use of the oxygen electrode and fluorescence probes in simple measurements of photosynthesis. **Chichester: Oxygraphics**, 1987.145p.

WEISS, E.A. Castor. In: WEISS, E. A. **Oil seed crops**. London: Longman, 1983.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, p. 307-313, 1994.

WILKINSON, S. Water use efficiency and Chemical signaling. In: BACON, M. A. (Ed). **Water use efficiency in plant biology**. Blackwell Publishing, p. 75-112, 2004.

YEMN, E. W. WILLIS, A. J. The Estimation of Carbohydrate in plant by antrone. **The Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-14, 1954.

YOON, S. T. HOOGENBOOM, G. FLITCROFT, I. BANNAYAN, M. Growth and development of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in response to CO₂ enrichment under two different temperature regimes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, p. 178–187, 2009.

ANEXOS

ANEXO A. Resumos das Análises de Variância (Quadrados Médios) para as variáveis: diâmetro do caule, altura do caule, número de folhas, potencial osmótico, extravasamento de eletrólitos, carboidratos, em mamoneira (*R. communis* L.). Campina Grande, 2010.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios					
		Diâmetro do caule	Altura do caule	Nº folhas	Eletrólitos	Solutos no simplasma	Carboidratos
Temperatura (F1)	1	43,970**	1,523 ^{ns}	203,745**	19,243 ^{ns}	172,783 ^{ns}	3662,060 ^{ns}
CO2 (F2)	1	0,013 ^{ns}	2084,473**	3,069 ^{ns}	207,010**	145607,965**	1067,769 ^{ns}
F1XF2	1	16,698*	112,717 ^{ns}	98,990*	0,238 ^{ns}	15748,113*	3,478 ^{ns}
Efeito linear	1	806,448**	54514,595**	577,562**	846,297**	313,824 ^{ns}	12128,329**
Efeito quadrático	1	252,089**	6659,465**	349,975**	82,619 ^{ns}	38188,486**	1100,863 ^{ns}
Efeito cúbico	1	43,399**	1390,748**	280,953**	188,209*	2162,443 ^{ns}	1945,312 ^{ns}
Resíduo	60	3,996	115,898	14,659	26,601	3221,405	1213,469
Total	79	1.458,012	79187,515	2894,391	4170,728	536934,972	205492,296
CV %		14,842	17,496	32,007	38,37	10,081	55,286

** - Significativo a 1% de probabilidade; * - Significativo a 5% de probabilidade; ns - Não significativo.

ANEXO B. Resumos das Análises de Variância (Quadrados Médios) para a variável área foliar (AF) e área foliar específica (AFE) em mamoneira (*R. communis* L.). Campina Grande, 2010.

Fonte de variação	GL	QM para AF do ciclo	GL	Quadrados Médios (QM)			
				AFE 20 dias	AFE 40 dias	AFE 80 dias	AFE 100 dias
Temperatura (F1)	1	2125,600*	1	0,419 ^{ns}	1,604 ^{ns}	0,116 ^{ns}	0,624 ^{ns}
CO2 (F2)	1	1445,216 ^{ns}	1	13,183**	69,500**	0,223 ^{ns}	0,112 ^{ns}
F1XF2	1	6669,685 ^{ns}	1	0,088 ^{ns}	2,376 ^{ns}	0,212 ^{ns}	0,006 ^{ns}
Efeito linear	1	6239,611**					
Efeito quadrático	1	24972,404**					
Efeito cúbico	1	286,142 ^{ns}					
Resíduo	60	31476,307	12	0,538	0,278	2,028	1,547
Total	79	81680,772	15	1,152	1,983	2,121	1,643
CV %		38,930		8,495	6,670	15,670	14,528

** - Significativo a 1% de probabilidade; * - Significativo a 5% de probabilidade; ns - Não significativo. Dados transformados para $\sqrt{x}$ para área foliar e $\log(x)$ para área foliar específica.

ANEXO C. Resumos das Análises de Variância (Quadrados Médios) para as variáveis: fotossíntese, transpiração, condutância estomática, teor de clorofila *a*, *b*, carotenóides e clorofila total, em mamoneira (*R. communis* L.). Campina Grande, 2010.

Quadrados Médios (QM)

Fonte de variação	GL	Fotossíntese	Transpiração	Cond. Estomática	Chl a	Chl b	Chl Total
Temp (F1)	1	81,656 *	6,355 ^{ns}	0,00039 ^{ns}	15863,699*	684,424*	16445,977**
CO2 (F2)	1	2,924 ^{ns}	16,745**	0,01378 ^{ns}	7221,154 ^{ns}	166,815 ^{ns}	14816,962*
F1XF2	1	191,097**	13,116**	0,00002 ^{ns}	72148,400**	937,053**	75836,374**
Efeito linear	1	906,361**	114,338**	0,93693**	223520,105**	1915,737**	302776,863**
Ef quadrático	1	0,135 ^{ns}	20,717**	0,05204 ^{ns}	13289,644*	743,694*	29253,309**
Efeito cúbico	1	10,072 ^{ns}	27,496**	0,06461*	106759,034**	1975,223**	125551,050 **
Resíduo	60	20,239	1,715	0,01501	2653,107	125,549	2228,189
Total	79	4383,978	370,629	2,484	697190,236	25417,988	858177,994
CV %		42,359	32,879	44,386	27,113	23,002	20

** - Significativo a 1% de probabilidade; * - Significativo a 5% de probabilidade; ns - Não significativo. Dados da área foliar transformados para $\sqrt{x}$ e da área foliar específica para $\log(x)$.