



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

MARIA SUELI ROCHA LIMA

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE GERGELIM (*Sesamum indicum* L.) EM
FUNÇÃO DE LÂMINAS DE ÁGUA**

**AREIA-PB
2013**

MARIA SUELI ROCHA LIMA

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE GERGELIM (*Sesamum indicum* L.) EM
FUNÇÃO DE LÂMINAS DE ÁGUA**

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

Orientadores:

Prof^o.Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão

Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Rocha

**AREIA-PB
2013**

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial do
CCAA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

L732c Lima, Maria Sueli Rocha.

*Crescimento e produção de gergelim (Sesamum indicum L.) em função
de lâminas de água / Maria Sueli Rocha Lima. - Areia-PB, 2013.*

58f.

*Orientadores: Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão e Maria do
Socorro Rocha*

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCA

*1. Agricultura. 2. Agricultura tropical. 3. Gergelim – crescimento –
produção.*

UFPB/BC

CDU: 631(043)

MARIA SUELI ROCHA LIMA

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE GERGELIM(*Sesamum indicum* L.) EM
FUNÇÃO DE LÂMINAS DE ÁGUA**

Aprovada em 30 setembro de 2013

Banca examinadora

Profº. Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão
Orientador- EMBRAPA Algodão / UFPB (*In Memoriam*)

Profª. Drª. Maria do Socorro Rocha
Orientadora – UEPB-DCR

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

Dr. Valdinei Sofiatti
Examinador-EMBRAPA Algodão

**AREIA-PB
2013**

*A Deus, por estar sempre em minha vida e em meus
pensamentos,orientando e definindo meu destino,
Agradeço*

**Aos meus queridos pais, João Luiz da Rocha e
Severina Gomes Barbosa Rocha (*In Memoriam*),
que deixou com eternas saudades...**

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela maravilha que é, e por demonstrar isto a cada momento de nossas vidas.

A minha família, meu marido Abramo Doneli Lima Filho, meus filhos: Eloísa Helena Rocha Lima, Annelise Rocha Lima e Luiz Eduardo Rocha Doneli Lima, com imensa gratidão aos meus queridos pais João Luiz da Rocha e Severina Gomes Barbosa Rocha (*In Memoriam*) que, enquanto presentes, tudo fizeram para que chegasse onde hoje estou. Que Deus o tenha ao seu lado papai e mamãe. Que Deus continuem nos abençoando.

As minhas irmãs: Ivone Rocha, Inês Rocha, Maria Rocha. Por toda atenção e carinho.

Aos meus sogros Abramo Doneli Lima, Rosália Leopoldino Lima, Cunhados Axell Leopoldino Lima, Verusckha Leopoldino Lima, Gilson Aciole, Israel Santos, Tios, Sobrinhos e primos, companheiros de todos os momentos e sempre dispostos a me ajudar.

A Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, e a todos os professores que contribuíram para minha formação.

De modo especial aos meus orientadores: Prof^o. Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão (*In Memoriam*), Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Rocha, pelas orientações, conselhos, incentivos, compreensão, confiança, paciência e sobretudo, pela amizade, sou muito grato por tudo. Ao Prof^o. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque, o Dr. Valdinei Sofiatti, por aceitaram fazer parte da banca examinadora.

Ao Programa de Capacitação de Profissionais de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro no fornecimento de bolsa de pesquisa.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (Embrapa Algodão), pelo fornecimento de sementes e por disponibilizar suas instalações durante execução do trabalho, aos membros do laboratório de Fisiologia Vegetal (Bruna Santana, Joseni Ferreira da Silva, Márcia, Daysa, Carlos Domingues, Amaro, Marcilio, Félix, Joabson, Menezes, Amós e Rui) pelo auxílio e amizade.

Aos colegas da Pós-Graduação: Leandro Firmino, Danielle, Marciane, Iane, Alinna pela amizade e companheirismo.

Aos colegas de Laboratório (Nicholas, Fausto, Fabíola, Jussara, James, Darlene) pela convivência e amizade.

À Eliane Araújo, secretária sempre tão educada e amiga em todas as horas.

Ao Prof^o. Dr. Ademar Pereira de Oliveira pelos bons conhecimentos acadêmicos que foram transmitidos no centro do PPGA.

A Prof^a. Dr^a. Luciana Cordeiro do Nascimento pela paciência e dedicação e, principalmente pelo companheirismo e respeito.

Ao Prof^o. Dr. Leossávio César de Souza por ter permitido a realização do estágio de docência.

Aos membros da Banca Examinadora, pelas importantíssimas contribuições e sugestões que serão apresentadas.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELA.....	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1- Cultura do gergelim.....	3
2.2- Manejo da irrigação.....	5
2.3- Análise de crescimento	7
2.4 - Função de produção	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1- Localização da área experimental , clima e solo	10
3.2- Delineamento estatístico e tratamentos	11
3.3- Característica dos genótipos utilizados	12
3.4- Preparo da área e adubação	12
3.5- Manejo de irrigação.....	14
3.6- Semeadura e tratos culturais	15
3.7- Variáveis avaliadas	15
3.7.1- Análise de crescimento.....	15
3.7.2- Análises fisiológicas e bioquímicas	16
3.7.3- Produção.....	19
3.8-Análises estatísticas.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1- Análise de crescimento	20
4.2- Análises fisiobioquímicas	22
4.2.1- Fisiologias	22
4.2.2- Análises bioquímicas	27
4.3- Produção.....	31
5. CONCLUSÕES	36
6. REFERÊNCIAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização política do município de Barbalha – CE, onde foi conduzido o experimento.	10
Figura 2. Croqui do experimento com a casualização dos tratamentos em cada parcela experimental. Barbalha- CE .2012.	13
Figura 3. Aferição da altura de plandas (A), do diâmetro caulinar(B) e do comprimento e largura da folha (C) de genótipos de gergelim ao 95 DAE, Barbalha –CE , 2012.....	16
Figura 4. Altura da planta (A), diâmetro caulinar(B) e área foliar (C) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxa de reposição hídrica, Barbalha- CE, 2012.	21
Figura 5. Extravasamento de eletrólitos (A), conteúdos de clorofila a (B), clorofila b (C), clorofila total (D) e carotenoides (E) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica Barbalha-CE,2012.	25
Figura 6 . Teores de proteínas solúves nas folhas (A e B) e raízes (C e D) do genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica , Barbalha -CE, 2012.....	28
Figura 7 . Teores de carboidratos solúveis nas folhas (A), nas raízes (B), atividade da catalase (C) e peroxidase (D) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica.Barbalha- CE, 2012.	30
Figura 8. Fitomassa seca das raízes (A) e fitomassa seca total (B e C) de genótipos de gergelim a diferentes taxas de reposição hídrica, Barbalha –CE 2012.	33
Figura 9. Produtividade de grão(A) e teor de óleo nas sementes (B) de genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica, Barbalha – CE.	34

LISTA DE TABELA

Tabela 1 . Temperatura média (Tem), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (VV) e precipitação (P) coletadas durante o período experimental. Barbalha, CE, 2012.....	11
Tabela 2. Análise química do solo da área experimental, da camada de 0 a 0,2 m. Barbalha – CE, 2013.	11
Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), diâmetro caulinar (DC) e área foliar (AF) do genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha – CE, 2012.....	20
Tabela 4 . Resumo das análises de variância para as variáveis: teor relativo de água (TRA), extravasamento de eletólitos (EE), clorofila a (Cla), clorofila b (Clb), clorofila total (Clt) e carotenoide (CAR) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha – CE, 2012.....	23
Tabela 5 . Resumo das análises de variância para as variáveis proteína da folha (PF), proteína da raiz (PR), carboidratos da folha (CF), carboidratos da raiz(CR), catalase (CAT) e peroxidase (PER) em genótipos submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha – CE, 2012.	27
Tabela 6 . Resumo da análise de variância para as variáveis fitomassa da parte aérea (FPA), fitomassa da raiz (FR), fitomassa total (FT), produtividade (P) e teor de óleo (To) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha-CE, 2011.	32

LIMA, M. S. R. **Crescimento e produção de gergelim (*Sesamum indicum* L.) em função de lâminas de água**. Areia: UFPB/CCA, 2013. 58p. (Dissertação em Agronomia)¹. Área de concentração: Agricultura Tropical. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. mariasuelirocha@hotmail.com

RESUMO

O Gergelim é uma das mais importantes culturas oleaginosas, podendo ser cultivada nas regiões tropicais e subtropicais de todo o mundo, a exemplo do Nordeste do Brasil. Suas sementes possuem um óleo de alto teor nutricional e protéico, com diversas aplicações, tanto na indústria alimentícia como na farmacêutica, cosmética e de biodiesel. No entanto, na região Nordeste a irregularidade das chuvas, aliado a altas taxas de evapotranspiração geralmente limitam a produção agrícola, sendo necessário a realização de estudos visando selecionar genótipos com características de tolerância a essas condições. Nesse contexto, objetivou-se com esse trabalho, avaliar o crescimento, a fisiologia e a produção de genótipos de gergelim em função de diferentes reposições hídrica. O experimento foi realizado de setembro a dezembro de 2012 na Unidade Experimental da Embrapa Algodão, localizado no Município de Barbalha, CE, sob condições de campo. Optou-se pelo delineamento em blocos casualizados, com tratamentos em esquema fatorial (4×6), correspondendo a quatro lâminas de irrigação (40; 70; 100 e 130% da ETo) e seis genótipos (G1=T3-EGSGO3; G2=T7-EGSGO7; G3=T5-EGSGO5; G4 =T2-EGSGO2; G5=T6-EGSGO6; G6=T4-EGSGO4) com três repetições. Durante o experimento, foram coletados dados correspondentes às variáveis de crescimento (área foliar; altura da planta e diâmetro do caule), fisiológicas e bioquímicas (teor relativo de água; ruptura da membrana celular; teor de pigmentos fotossintetizantes; carboidratos e proteínas na folha e raiz e a atividade das enzimas peroxidase e catalase) e de produção (fitomassa seca, teor de óleo nas sementes e produtividade). A colheita do Gergelim foi realizada manualmente aos 95 dias após a semeadura. O maior crescimento e, consequentemente, produção foram verificados com a aplicação de lâminas entre 75 e 90% da evapotranspiração de referência. O conteúdo de pigmentos, clorofila *a* e *b*, total e carotenóides foram incrementados com a aplicação de 80% da ETo. A atividade enzimática das cultivares de gergelim foi reduzida nas plantas sob estresse hídrico, tanto por deficiência quanto por excesso. O potencial máximo de produção do gergelim é encontrado com a aplicação de lâminas de água no intervalo de 75 a 90% da ETo.

Palavras-chave: Evapotranspiração, fitomassa, enzimas antioxidantes, conteúdo de óleo.

LIMA, M. S, R. **Growth and production of sesame (*Sesamum indicum* L.) as a function of water slides**. Sand: UFPB / CCA, 2013. 58p. (Thesis in Agronomy) ¹. Area of concentration: Tropical Agriculture. Universidade Federal da Paraíba-UFPB. mariasuelirocha@hotmail.com

ABSTRACT

Sesame is an important oilseed crop and can be grown in tropical and subtropical regions around the world, such as the Northeast of Brazil. Its seeds have oil of high nutritional and protein content, used in the food industry and pharmaceutical, cosmetics and biofuel. However, in the Northeast there is irregularity rainfall and high evapotranspiration rates which usually prejudice agricultural production and research development in order to select genotypes with characteristics of tolerance to these conditions. In this context, this study was carried out in order to evaluate growth, physiology and production of sesame genotypes under different rates of water replacement. The experiment was accomplished from September to December 2012 at the Experimental Station of Embrapa Algodão, Barbalha, CE, under field conditions. The randomized block design was adopted with treatments in a factorial (4×6), corresponding to four irrigation levels (40, 70, 100 and 130% of ETo) and six genotypes (G1=T3-EGSGO3; G2=T7-EGSGO7; G3=T5-EGSGO5; G4 =T2-EGSGO2; G5=T6-EGSGO6 and G6=T4-EGSGO4) with three replications. During experiment were collected growth variables (leaf area, plant height and stem diameter), physiological and biochemical (relative water content, disruption of the cell membrane, content of photosynthetic pigments, carbohydrates and protein in leaves and root and peroxidase and catalase activity) and production (dry matter, oil content in seeds and productivity). Harvesting of Sesame was performed manually at 95 days after sowing. Higher growth and production occur using irrigation levels between 75 and 90% ETo. The content of pigments, chlorophyll b, and total carotenoids were enhanced with application of 80% ETo. The enzymatic activity of sesame cultivars was reduced in plants under drought stress by deficiency or by water excess. Maximum production potential of sesame is found with application of water levels in 75-90% of ETo.

Keywords: Evapotranspiration, biomass, antioxidant enzymes, oil content.

1. INTRODUÇÃO

O gergelim ou sésamo (*Sesamum indicum* L.) pertence à família das Pedaliáceas, ordem *Tubiflorae*, subordem *Solamineae*, tribo *Sesameae* e gênero *Sesam*. É constituída por 13 gêneros, 75 espécies encontradas em áreas tropicais e subtropicais. É uma planta anual ou perene, dependendo da cultivar, de altura variável, 0,5 a 3m, caule reto, com ou sem ramificações, possui nível de heterofilia, folhas pecioladas pubescentes, flores axilares, gamopétalas e zigóformas, com fruto tipo cápsula e deiscência loculicida (BELTRÃO et al. 2001).

Considerada uma das primeiras oleaginosas utilizadas pela humanidade, o gergelim atualmente é a nona oleaginosa mais cultivada no mundo (MESQUITA et al. 2013). No Brasil, são produzidas 13 mil toneladas numa área de 22 mil hectares, com produtividade média de 519 kg ha⁻¹, sendo o cultivo concentrado nos estados de Goiás e Mato Grosso, no triângulo mineiro e na região Nordeste, respectivamente (AMABILE et al. 2001; BARROS et al. 2001). De acordo com Arriel et al. (2009), a produtividade do gergelim depende de vários fatores climáticos como temperaturas entre 25 e 30 °C, altitudes abaixo de 500 metros e precipitação entre 500 e 650 mm.

Contudo, alguns autores consideram a cultura do gergelim resistente a seca, podendo-se ter produção com cerca de 300 mm bem distribuídos durante o ciclo, o que possibilita seu cultivo em zonas áridas e semiáridas e em épocas de escassa precipitação (BARROS et al. 2001; BELTRÃO et al. 2001; PASCHOLATI e WULFF, 2005; GRILO JÚNIOR; AZEVEDO, 2013). Segundo Perin et al. (2010), a cultura pode, ainda, ser inserida em sistemas tradicionais de cultivo (convencional e plantio direto), bem como, em sistemas de produção agroecológicos, despertando interesses de pequenos e médios produtores que buscam alternativas de produção.

No Nordeste brasileiro, onde predomina a escassez e/ou a má distribuição das chuvas, a deficiência hídrica é condição comum que limita, muitas vezes, a produção agrícola e torna o cultivo de sequeiro uma atividade de alto risco (LEITE; VIRGENS FILHO, 2004). Segundo Silva et al. (2011), a água é um dos fatores indispensáveis para a produção agrícola, devendo ter o máximo de atenção, visto que, tanto o déficit quanto o excesso podem reduzir a produtividade das culturas. Dessa forma, a irrigação, entendida como a reposição da água na quantidade certa e no momento certo, é uma técnica disponível para suplementar a precipitação, melhorando o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento das culturas.

Conforme Bastos (1991), a irrigação viabiliza a produção, regulariza e completa o uso do solo, aumentando a produtividade das culturas, ressaltando que o sucesso do cultivo depende da irrigação suplementar durante o período crítico da cultura. Dessa forma, além de se conhecer a quantidade de água a ser aplicada, é necessário entender o comportamento da cultura em diferentes quantidades de água no solo e identificar as fases fenológicas de maior consumo, os períodos críticos, quando a falta ou o excesso provocaria queda de produção (BERNADO et al. 2009), bem como a diferença entre materiais genéticos distintos.

Nesse cenário, pesquisas devem ser realizadas com o intuito de determinar o comportamento dos diferentes genótipos sob condições hídricas distintas. Para tanto, pode-se monitorar a otimização de diferentes manejos agrônômicos por meio de modelos empíricos quantificados a partir da análise de crescimento e do desenvolvimento vegetal, de modo a avaliar a fotossíntese e, conseqüentemente, o acúmulo de fitomassa seca e rendimento da planta, além da quantificação de índices fisiológicos (NETTO et al. 2000; BENICASA, 2003) e bioquímicos que são de grande utilidade e bastante apropriados.

Nos últimos anos, vários trabalhos foram realizados com gergelim envolvendo, geralmente, espaçamentos, densidade de plantio (AMABILE et al. 2002) e irrigação (BEZERRA et al. 2008; LIMA et al. 2013; MESQUITA et al. 2013), porém são poucos os trabalhos visando determinar as variações morfofisiológicas em diferentes genótipos sob a aplicação de lâminas de irrigação. Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho, avaliar o crescimento, a fisiologia e a produção de genótipos de gergelim em função de diferentes reposições hídrica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do gergelim

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta oleaginosa, considerada de origem africana, porque nesse continente é onde se encontra a maioria das espécies silvestres do gênero *Sesamum*. Apesar de que, na Ásia está uma riqueza maior de formas e variedades das espécies cultivadas deste gênero. O gergelim é a nona oleaginosa mais plantada no mundo, ocupando uma área cultivada em torno de 6 milhões de hectares com rendimento médio de 400 kg ha⁻¹ de sementes. É uma excelente opção para o semiárido nordestino, podendo servir como alternativa de renda e fonte protéica para os pequenos e médios produtores. Uma melhoria no sistema de produção que ofereça maior rendimento à cultura nos diferentes ecossistemas onde possa ser plantada, contribuirá para o seu aumento produtivo e redução da necessidade de importação do grão ou óleo (FIRMINO, 2001; FIRMINO et al. 2003).

No Brasil, o gergelim foi trazido nas caravelas portuguesas no século XVI. E, no Nordeste, só a partir de 1986 passou a ser cultivado comercialmente, como uma alternativa a cultura do algodão, que apresentava uma drástica redução na área de cultivo, embora já viesse sendo cultivado no centro-sul do Brasil a mais de 40 anos, principalmente em São Paulo, onde atendia ao segmento agroindustrial oleaginoso, indústria de doces, restaurantes, casas de comidas naturais e alimentos *in natura* (ARAÚJO et al. 1999).

O cultivo do gergelim, embora com produtividade inferior a maioria das oleaginosas cultivadas, como por exemplo, soja, coco, dendê, amendoim, girassol e mamona (1.712,5; 3.533,4; 5.572,1; 1.671,9; 1.000,0; 530,3 kg ha⁻¹, respectivamente) merece um grande incentivo na sua exploração, por representar uma excelente opção agrícola ao Alcance do pequeno e médio produtor, já que esta cultura exige práticas agrícolas simples e de fácil assimilação (BARROS et al. 2001).

O gergelim possui grande heterogeneidade de características morfológicas, podendo ser anual ou perene, com uma diferença de altura variando de 0,50 a 3,00 m, possuindo caule ereto, com ou sem ramificações e podendo ou não apresentar pelos (tricomos). Apresenta sistema radicular do tipo pivotante, com folhas alternadas ou opostas, sendo as da parte inferior da planta adulta mais largas, irregularmente dentadas ou lobadas, ao passo que as da parte superior são lanceoladas. As flores são completas e axilares, podendo variar de 1 a 3 por axila foliar. Seu fruto é uma cápsula, alongada, pilosa e deiscente (abrindo-se ao atingir a maturação) ou indeiscente, com comprimento variando de 2 a 8 cm, dependendo da variedade

e do sistema de cultivo. As sementes são bem pequenas, com 1000 sementes pesando de 2 a 4 g, dependendo da cultivar e do ambiente, variando também na cor, onde se encontram desde sementes brancas até pretas, sendo as primeiras as mais aceitas no mercado (BELTRÃO et al. 2001).

O gergelim é uma espécie com adaptação aos clima tropical e subtropical, e considerada tolerante à seca. Sua produção no Brasil é proveniente de pequenos e médios agricultores, exercendo, portanto, uma apreciável função social, já que os grãos de gergelim são fonte de excelente óleo comestível, de grande estabilidade e resistente à rancificação, comparado a outros óleos. Esta espécie também exerce importante papel econômico, uma vez, que suas sementes também são utilizadas na indústria alimentícia (confeção de massas, doces, tortas e consumo *in natura*), de tintas, sabões, cosméticos e remédios (GODOY et al. 1985; SAVYFILHO et al. 1988; RAM et al. 1990). Os grãos inteiros, apenas decorticados (despeliculados) e polidos, são muito utilizados como confeito no pão de hambúrguer e em outros produtos da panificação. A diversificação do uso e o aumento do consumo acarretaram uma significativa demanda por melhores informações sobre o seu cultivo, visando ao aumento da produção e à redução das importações.

O rendimento e a época de colheita do gergelim podem variar fortemente com o ano agrícola, numa mesma cultivar e/ou região de produção (LAGO et al. 1994). As regiões brasileiras que atualmente mais produzem gergelim são: os estados de Goiás e Mato Grosso, no triângulo mineiro em Minas Gerais e a região Nordeste (BARROS et al. 2001).

O gergelim deve ser propagado, comercialmente, por sementes, por serem pequenas devem ser lançadas em solo bem preparado, objetivando-se facilitar a emergência e promover seu estabelecimento rápido e evitar a competição de ervas. A época de plantio varia de acordo com a cultivar: Para genótipos de ciclo longo (4-6 meses) recomenda-se o plantio no início das chuvas. Nos estados do Nordeste, recomenda-se o plantio após a definição da estação chuvosa, quando ocorrerem precipitações de pelo menos 40 a 50 mm, que possibilitem o preparo do solo e o estabelecimento inicial das plântulas. Nas demais regiões do Brasil, especialmente Centro-Oeste e Sudeste, onde o período chuvoso é bem definido, o gergelim pode ser usado como primeira ou segunda cultura, conforme o interesse do produtor (BELTRÃO et al. 2001). Como tem boa tolerância à seca, sua utilização na “safrinha”, como cultura secundária, pode ser uma boa opção.

O gergelim é uma cultura de produtividade média, muitas vezes inferior a 400 kg ha⁻¹ de sementes, podendo o produtor alcançar produtividades maiores se utilizar genótipos mais produtivas e realizar um manejo adequado da cultura no campo como: um bom preparo do

solo, uso correto de fertilizantes e corretivos, e o controle rigoroso de plantas daninhas (BELTRÃO et al.1994).

O cultivo do gergelim no Brasil é restrito, limitando a expansão da cultura devido a operação de colheita, totalmente manual. A falta de programa de produção de sementes é ponto importante para o sucesso da cultura, já que as sementes que estão sendo plantadas são materiais descaracterizados quanto à origem, sendo oriunda das lavouras dos próprios produtores (ARRIEL et al. 2006).

O gergelim prefere solos profundos com textura franca, bem drenados e de boa fertilidade natural (macro e micronutrientes) e nunca solos salinos. A planta pode crescer/desenvolver-se em tipos diversos de solos sem atingir a plenitude observada nos solos preferenciais. Os solos devem apresentar reação neutra - pH próximo a 7, não tolerando, a planta, aqueles com pH abaixo de 5,5 ou acima de 8, é extremamente sensível à salinidade e alcalinidade (por sódio trocável). Em regiões semiáridas do Nordeste (Seridó, Cariri, Sertão) os solos são razoáveis para o cultivo do gergelim que é uma planta sensível ao encharcamento e à saturação hídrica do solo. O gergelim também extrai do solo quantidades elevadas de N, P e K, (BELTRÃO et al. 2001), razão esta de ser uma planta comumente conhecida como esgotante de solo (BELTRÃO et al. 1994). A cultura absorve pouco N-P-K até o trigésimo dia após o plantio, a partir daí os requerimentos da planta por esses nutrientes crescem rapidamente, alcançando uma demanda máxima de N aos 74 dias, de P dos 60 aos 90 dias e de K, depois dos 35 dias, crescendo até o final do ciclo (ARRIEL et al. 2006).

2.2 Manejo da irrigação

Dentre os diversos usos dos recursos hídricos, a irrigação destaca-se pela importância socioeconômica em regiões agrícolas áridas e semiáridas, onde é praticada para suplementar a precipitação natural no atendimento das necessidades hídricas das culturas (FARIAS et al. 2000).

Segundo Souza et al. (1997), o manejo da irrigação em culturas irrigadas tem como ponto chave decidir como, quanto e quando irrigar. Além disso, a quantidade de água a ser aplicada é normalmente determinada pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser estimada através da evapotranspiração ou por meio da tensão de água no solo.

Para se alcançar todos os objetivos da prática de irrigação, os quais englobam a maximização da produção, racionalização do uso da mão-de-obra, energia, água e fertilizante, e a aplicação correta da água, é indispensável adotar um correto manejo da irrigação (MIRANDA e PIRES, 2003). De acordo com estes autores, o manejo da irrigação consiste na determinação de quanto, quando e como se aplicar a água, levando em conta diversos aspectos do sistema produtivo, como a adubação (fertirrigação), controle fitossanitário (quimigação), informações climatológicas e econômicas, e manejos e estratégias de condução da cultura.

De uma forma bastante prática, a fase mais crítica ao déficit hídrico é o período compreendido entre 10 dias antes do início do florescimento e 10 dias após o final da floração. Castro et al. (1997) verificaram que plantas de girassol que sofreram estresse hídrico a partir do início do florescimento ou no enchimento de aquênios tiveram menor produção de matéria seca total, de aquênios e de óleo.

Para Bernardo (2005), também é necessário conhecer o comportamento da cultura em função das diferentes quantidades de água fornecida e identificar as fases de desenvolvimento de maior consumo de água, e os períodos críticos, quando a falta ou o excesso provocaria quedas de produção. Mas muito embora o gergelim seja uma planta tolerante à seca, suas maiores produtividades serão observadas quando conduzida em condições hídricas favoráveis (SOUZA et al. 2000).

Pereira et al. (1997) afirmam que os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), a partir de elementos medidos em estação agrometeorológica, são bastante utilizados em todo o mundo para se fazer manejo de irrigação. Dentre os métodos empíricos empregados, destacam-se os de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves e Samani, e o de Penman-Monteith. De acordo com estudos da FAO, a metodologia empregada por Penman-Monteith, deve ser utilizada como padrão para a estimativa da ET_o, em virtude dessa metodologia basear-se em processos físicos (ALLEN et al. 1998). Os mesmos autores afirmam que lâminas d'água em excesso podem provocar perdas de água e lixiviação de nutrientes pela percolação abaixo da zona das raízes, favorecendo a proliferação de microorganismos patogênicos e, em terrenos mal drenados, podem provocar a saturação do solo.

Antes de utilizar a adubação, recomenda-se sempre fazer a análise do solo (física e química), retirando as amostras da camada arável e seguir as recomendações de adubação da cultura, evidenciando sempre a relação custo/benefício que poderá ser obtida com a prática da adubação (MALAVOLTA et al. 2002). De acordo com os mesmos autores, a adubação começa na análise do solo, continua com a correção da acidez e termina quando se aplica o

adubo propriamente dito. E ainda, se faz necessário saber como se faz a amostragem do solo, que permitirá estabelecer que elemento ou elementos podem estar faltando, e que quantidades devem ser fornecidos na forma de adubos. Ainda de acordo com estes autores, a adubação deve ocorrer sempre que a necessidade da planta for maior que a quantidade que o solo pode suprir.

A correta adubação das culturas aumenta a produtividade agrícola e a rentabilidade das lavouras, embora represente um custo significativo para o agricultor e possa também aumentar em muito o risco do investimento, caso o manejo não seja o adequado (NOBRE, 2007).

2.3 Análise de crescimento

A análise de crescimento de plantas é um método que descreve suas condições morfofisiológicas em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostras sucessivas, dentro do seu ciclo. Com isso é possível avaliar seu crescimento como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos. A partir dos dados de crescimento pode-se inferir atividade fisiológica, isto é, estimar as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes (BENINCASA, 2003).

A análise de crescimento tem sido usada por pesquisadores, na tentativa de explicar diferenças no crescimento de ordem genética ou resultante de modificações do ambiente (BRANDELERO et al. 2002) e constitui uma ferramenta eficiente para a identificação de materiais promissores (BENINCASA, 2003). Também, pode ser usada para a avaliação da produtividade de culturas e permite que se investigue a adaptação ecológica a novos ambientes, a competição entre espécies, os efeitos de manejo e tratamentos culturais, e a identificação da capacidade produtiva de diferentes genótipos (ALVAREZ et al. 2005).

As características do crescimento envolvidas e determinadas na análise de crescimento indicam a capacidade do sistema assimilatório das plantas em sintetizar e colocar a matéria orgânica nos diversos órgãos (drenos) que dependem da fotossíntese, respiração e translocação de fotoassimilados dos sítios de fixação aos locais de utilização ou de armazenamento (FONTES et al. 2005). Portanto, expressam as condições fisiológicas da planta e quantifica a produção líquida derivada do processo fotossintético. Esse desempenho é influenciado pelos fatores bióticos e abióticos (LESSA, 2007).

2.4 Função de produção

Quando se fala em obtenção de um maior retorno econômico em atividade agrícola, satisfazer somente as necessidades da cultura não é suficiente, sendo necessário observar outros fatores, tais como: clima, solo e adubação. Contudo, o inadequado fornecimento de água e nutrientes às culturas são fatores que limitam mais frequentemente o seu rendimento, minando a eficiência de produção do sistema agrícola (BARROS et al. 2002).

A agricultura irrigada tem como objetivos principais garantir a produção e aumentar a produtividade das culturas, além de buscar a maximização da eficiência do uso da água e a otimização dos fatores de produção. De acordo com Bernardo (2006), a otimização do fator água deve possibilitar a melhor utilização dos insumos de produção, a fim de se obter maiores produtividades, com melhores combinações dos fatores utilizados. Para tanto, é necessário conhecer as funções de produção ou superfícies de resposta, para auxiliar nas decisões, uma vez que essas funções permitem as interações entre fatores que afetam a produtividade (SOUZA et al. 2000).

A função de produção ou de resposta das culturas é definida, por Frizzone (1987), como uma relação física entre as quantidades de um conjunto de insumos e as quantidades físicas, que podem ser obtidas do produto para cada tecnologia conhecida. Ferguson (1987) complementa, afirmando que uma função de produção é a relação técnica entre um conjunto específico de fatores envolvidos num processo produtivo qualquer e a produção física possível de se obter com a tecnologia existente.

As relações físicas e econômicas estabelecidas pelas funções de resposta de produção de uma cultura, obtidas com bases experimentais, constituem ferramentas importantes, para a tomada de decisão quanto à utilização dos recursos produtivos em empresas rurais que trabalham com irrigação. Em regiões onde ocorrem problemas de recursos hídricos, como é o caso do estado do Ceará, é importante considerar o planejamento da irrigação, devido à limitação de água. Nestas regiões, torna-se necessária a otimização dos recursos hídricos disponíveis para maximizar a renda líquida por unidade de volume de água utilizado. Porém, a expressão matemática que relaciona a produção ao fator de produção às funções de custo e de receita líquida, para as condições de interesse deve ser conhecida (SOUZA et al. 2000).

Para quantificar os benefícios econômicos da irrigação, é necessário saber quantificar o esperado aumento na produtividade em função do aumento de água aplicada. A representação gráfica ou matemática desta relação é denominada função de produção “água-cultura”. Esse tipo de função de produção “água-cultura” típica é quando relacionamos

“lâmina de água aplicada durante o ciclo da cultura” versus “produtividade comercial”. Outra maneira de expressar funções de produção “água-cultura” é relacionar lâminas aplicadas por estádios de desenvolvimentos da cultura, ou evapotranspiração ou tensão ou umidade do solo versus produtividade (BERNARDO, 1995). Este mesmo autor afirma que, normalmente, as expressões matemáticas das funções de produção “água-cultura” são do tipo linear, potencial e exponencial.

No que diz respeito ao processo de planejamento agrícola, as funções de produção constituem-se no elemento básico de tomada de decisão dos planos de desenvolvimento e, relativamente, à operação de irrigação e adubações. Ela pode permitir tomar decisões sobre planos ótimos de cultivo e ocupação de área para produção econômica, com base na água disponível e insumos consumidos. Frizzzone (1987) complementa afirmando que a utilização das funções de produção permite encontrar soluções úteis na otimização do uso da água e dos fertilizantes na agricultura ou na previsão de rendimentos culturais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental, clima e solo

O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Algodão, localizado no município de Barbalha – CE (Figura 1), situado à 07°19' de latitude Sul e 39°18' de longitude Oeste, a uma altitude de 415,74 m.



Figura 1. Localização política do município de Barbalha – CE, onde foi conduzido o experimento.

O clima da região é do tipo Aw', sendo caracterizado como tropical chuvoso, muito quente, com chuvas predominantes nas estações do verão e outono (KOPPEN, 1923). A região possui precipitação média em torno de 1523 mm, temperatura média do ar de 26,9°C e umidade relativa de 69% (Dados fornecidos pela Estação Meteorológica da Embrapa algodão). Durante o período experimental foram coletados, junto a Estação Meteorológica da Embrapa da Embrapa Algodão em Barbalha – CE, dados de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação (Tabela 1).

Tabela 1. Temperatura máxima (T_Max), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (VV) e precipitação (P) coletadas durante o período experimental, Barbalha, CE, 2012.

Mês	T_Max (°C)	UR (%)	VV(m s ⁻¹)	P(mm)
Setembro	37,83	67	2,38	0,76
Outubro	37,94	66	2,62	4,82
Novembro	38,45	63	2,62	3,80
Dezembro	38,88	63	2,66	3,81

O solo da região é classificado como um ARGISSOLO VERMELHO AMARELO de textura areia franca. Para efeito da caracterização química do solo, antes da instalação dos experimentos, foram retiradas amostras de solo, na camada de 0 a 0,2 m, com auxílio de um trado, e levadas ao Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Algodão, onde foram analisadas. Os resultados estão dispostos nas tabelas 2.

Tabela 2. Análise química do solo da área experimental, da camada de 0 a 0,2 m, Barbalha - CE, 2012.

Determinações									
pH	P	K ⁺	Na ⁺	H+Al ⁺³	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺² S	M.O	
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmolc/dm ³ -----				-----			g/kg
6,8	5,4	0,14	0,28	0,33	----	9,53	4,92	14,87	12,3

----- não detectado

3.2. Delineamento estatístico e tratamentos

O experimento constou do cultivo de seis genótipos de gergelim (G1=T3-EGSGO3; G2=T7-EGSGO7; G3=T5-EGSGO5; G4=T2-EGSGO2; G5=T6-EGSGO6; G6=T4-EGSGO4) submetidos a quatro taxas de reposição hídrica (40, 70, 100 e 130% da ETo), totalizando 24 tratamentos distribuídos em blocos ao acaso com três repetições (Figura 2). A parcela experimental foi composta de 4 fileiras de plantas, considerando como área útil as duas fileiras centrais.

3.3. Características dos genótipos utilizados

Os genótipos de gergelim utilizados foram da cor branca e creme, todos desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Algodão) em 2007. Dentre as principais características estão: ciclo de 90 a 95 dias, início da floração aos 35 dias, produtividade média de 1.000 kg ha⁻¹, teor de óleo entre 50 e 53%, tolerância à seca e resistência às principais doenças da cultura (BRASIL, 2007).

3.4. Preparo da área e adubação

Para efeito de preparo da área experimental, inicialmente, foi realizada uma aração seguida de quatro gradagens cruzadas, utilizando-se de uma grade niveladora. Em seguida, procedeu-se a adubação de fundação, baseada na análise química do solo, por meio da aplicação de 300kg h⁻¹ do fertilizante fosfato monoamônico –MAP (11% de N e 46% de P₂O₅). As adubações de cobertura foram realizadas após o desbaste e 45 dias após a emergência (DAE) aplicando-se 100 e 50 kg h⁻¹ de uréia (45% de N) e cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente, em sulcos abertos paralelamente as linhas laterais.

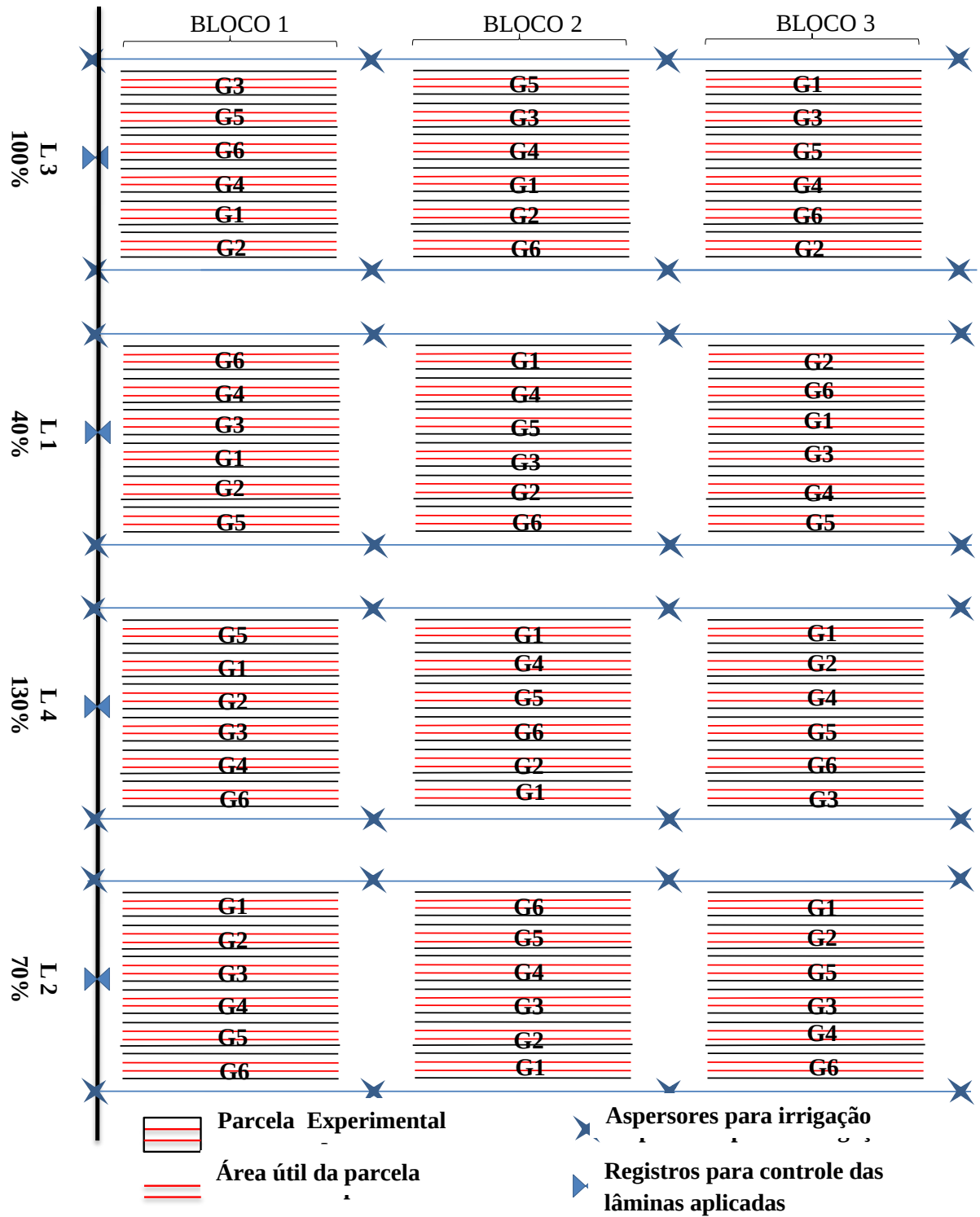


Figura 2: Croqui do experimento com a casualização dos tratamentos em cada parcela experimental, Barbalha,- CE, 2012.

3.5. Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado utilizando o princípio de lâmina acumulada, baseada na reposição da evapotranspiração de referência (ET_o) durante dois dias consecutivos. Para a estimativa da ET_o utilizou-se da equação de Penman-Monteith (Equação 1) padronizada pela FAO (PEREIRA et al. 1997), onde os dados climáticos foram coletados diariamente junto a Estação Meteorológica da Embrapa Algodão em Barbalha – CE. Já a lâmina de irrigação (Li) e o tempo de irrigação (Ti) foram estimados por meio das equações 2 e 3, respectivamente.

$$ET_o = \frac{0,48\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900U_2}{T + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (01)$$

Em que: ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); R_n = radiação líquida na superfície; J m⁻² dia⁻¹); G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); Δ = inclinação da curva pressão vapor versus temperatura do ar (kPa.°C⁻¹); U₂ = velocidade do vento medida a dois metros de altura (m s⁻¹); T = temperatura (°C); e_s = pressão de saturação do vapor d'água (kPa); e_a = pressão real do vapor d'água (kPa); γ = fator psicrométrico (MJ kg⁻¹).

$$Li = ET_o \times kc \quad (02)$$

Em que: ET_o = Evapotranspiração de referência; kc = coeficiente de cultivo conforme proposto por Amaral e Silva, 2008.

$$Ti = \frac{Li \times LL \times Ea \times FC}{Ei \times qa} \quad (03)$$

Em que: Ti = tempo de irrigação (h); Li = lâmina de irrigação a ser aplicada (mm dia⁻¹); LL = espaçamento entre as linhas laterais (m); Ea = espaçamento entre aspersões (m); FC = fator de cobertura do solo (adimensional); Ei = eficiência de irrigação (adimensional); qa - vazão do aspersões (L h⁻¹).

3.6. Semeadura e tratos culturais

A semeadura do gergelim deu-se de forma manual, em sulcos abertos, com cerca de 2 cm de profundidade, em toda extensão das linhas laterais. A germinação ocorreu de 3 a 4 dias após semeio, e o desbaste aconteceu em duas etapas: a primeira, de forma parcial, iniciou-se quando as plantas encontravam-se com 4 ou 5 folhas e a segunda, de forma definitiva, ocorreu quando as plantas encontravam-se com aproximadamente 15 cm de altura, objetivando-se colocá-las no espaçamento de 0,70 m entre linhas e 0,20 m entre plantas.

Foram realizadas capinas regulares visando evitar a competição da cultura com plantas daninhas, principalmente, durante o período inicial do crescimento da cultura, período este o mais crítico para o estabelecimento das plantas.

3.7. Variáveis avaliadas

Durante o experimento, foram coletados dados correspondentes à variáveis de crescimento (área foliar; altura da planta e diâmetro do caule), fisiológicas e bioquímicas (teor relativo de água; ruptura da membrana celular; teor de pigmentos fotossintetizantes; carboidratos e proteínas na folha e raiz e a atividade das enzimas peroxidase e catalase) e de produção (fitomassa seca, teor de óleo nas sementes e produtividade).

3.7.1. Análise de crescimento

Aos 90 dias após a emergência (DAE) foram realizadas coletas, não destrutivas, da altura de plantas (AP), diâmetro caulinar (DC) e o comprimento e largura das folhas utilizando-se de uma fita métrica, paquímetro e régua milimétrica, respectivamente (Figura 3). O comprimento e largura das folhas foram utilizados no cálculo da área foliar total da planta utilizando a equação 4, proposta por Silva et al. (2002).

$$AF = 0,7 \times C \times L \quad (04)$$

Em que: AF = área foliar (cm²); C e L = comprimento e largura da folha (cm).

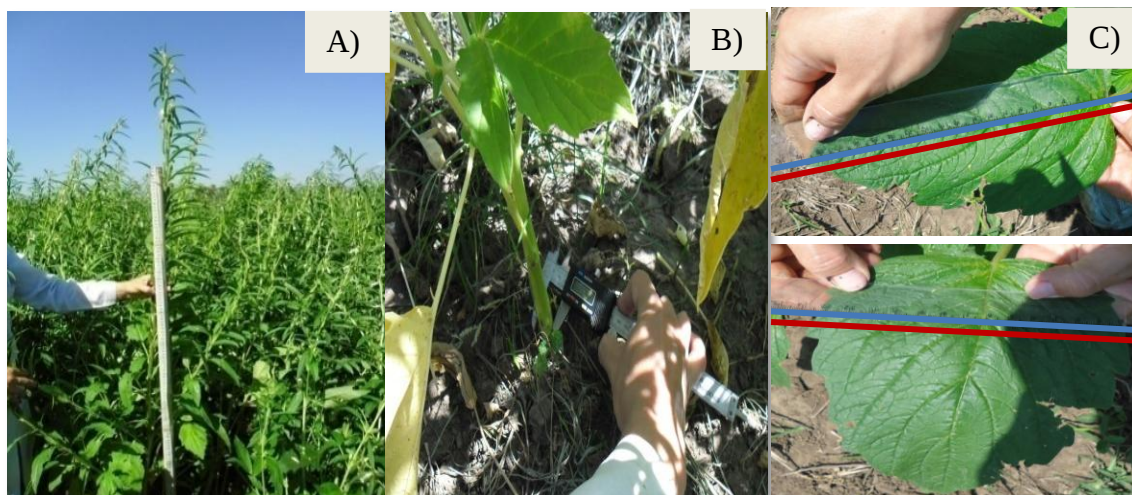


Figura 3. Aferição da altura de planta (A), do diâmetro caulinar (B) e do comprimento e largura da folha (C) de genótipos de gergelim aos 95 DAE, Barbalha -CE, 2012.

3.7.2. Análises Fisiológicas e bioquímicas

I-Teor relativo de água da folha

O teor relativo de água da folha foi avaliado 95 dias após a emergência. Para isso, discos foram retirados de folhas maduras, entre 7 e 8 horas da manhã, e imediatamente pesados (P1), logo depois foram imersos em água destilada e mantidos durante 12 horas no escuro. Em seguida os discos foram novamente pesados (P2) e acondicionadas em estufa de ventilação forçada de ar à 80 °C por 48 horas para a obtenção da fitomassa seca (P3). O TRA foi calculado conforme a equação 5.

$$TRA = \frac{P1-P3}{P2-P3} \times 100 \quad (05)$$

Em que: P1, P2 e P3 = massa fresca, massa túrgida e massa seca, respectivamente.

II- Disruptura da Membrana celular

Foi utilizada a metodologia proposta por Scotti Campos e ThuPhamThi, (1997), onde foram retirados 5 discos (113mm²) das folhas mais novas, completamente expandidas por parcela. Os discos foram lavados três vezes em placas de Petri contendo 20 mL de água deionizada. Em seguida as placas foram fechadas e mantidas á temperatura ambiente (25°C) por 90 minutos. Após este período, a condutividade inicial (Xi) no meio foi medida utilizando-se de um condutivímetro de bancada (MB11,MS Techonopon[®]). Logo depois, as

placas foram submetidas à temperatura de 80°C, por 90 minutos, em estufa de secagem (SL100/336, Solab[®]) e novamente a condutividade foi medida (Xf). 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, de acordo com a equação 6.

$$E = \frac{X_i}{X_f} \times 100 \quad (06)$$

Em que: E= Extravasamento de eletrólitos; Xi=Condutividade inicial; Xf= condutividade final

III-Teor de pigmentos fotossintetizantes

Para a obtenção dos valores de clorofila *a*, *b*, total e carotenóides foi utilizado o método de Hiscox e Israelstam, (1979). Para tanto, três discos foliares (113mm²), por parcela, foram acondicionados em tubos de ensaio, previamente preparados, e adicionados a DMSO para a dissolução das amostras. Em seguida as amostras foram aquecidas em banho Maria (Mod. BMD02, Biopar[®]) por 30 minutos a uma temperatura média de 70°C. Após a retirada desse material, esperou-se esfriar por cerca de 10 minutos, e em seguida transferindo uma alíquota para uma cubeta de quartzo de 3cm³, e a absorbância foi obtida pela leitura em espectrofotômetro para os seguintes comprimento de onda: 663, 645 e 480nm. Para as determinações e as quantificações foram utilizadas as equações relatadas por Wellburn (1994) e Sofiatti (2009).

IV- Carboidratos Solúveis (CS)

Para determinação da concentração de carboidratos empregou-se metodologia descrita por Yemn e Willis (1954). Onde, os carboidratos solúveis foram determinados colorimetricamente mediante o aquecimento dos mesmos em presença de antrona. Para tanto, utilizou-se de material seco e moído de folha e raiz, os quais foram macerados em etanol a 80%, para a obtenção do extrato, e centrifugadas a 4.500 rpm, por 10 minutos. Em seguida, acrescentou-se a solução de antrona a uma alíquota de 1 ml do sobrenadante, a mistura foi aquecida à 100°C por 10 minutos, em banho-maria (BM D02, Biopar[®]) e, em seguida, resfriada em banho de gelo, as leituras foram realizadas a 620 nm. A concentração de carboidratos solúveis foi estimada segundo a curva padrão de solução de glicose e, os dados obtidos expressos em mg glucose g⁻¹ MS.

V- Proteína total solúvel (PTS)

A concentração de proteínas solúveis foi quantificada pelo método de Bradford (1976). Onde amostras de matéria seca da folha e raiz moídas foram maceradas em tampão fosfato de potássio (pH 6,5). A amostra foi colocada em micro tubos contendo uma esfera de inox e levadas ao processador mini-beadbeater-96 (Marca: BIOSPEC) por 2 minutos, em seguida, foram centrifugadas por 20min a 1400 rpm. Subsequentemente, alíquotas de 100µL do extrato sobrenadante foram adicionadas do reagente Bradford, e a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm. A concentração de PTS foi calculada a partir da curva padrão preparada com albumina de soro bovino (BSA).

VI- Atividade enzimática

Para a determinação da atividade das enzimas peroxidase (POD) e catalase (CAT) foram utilizados extratos enzimáticos obtidos por meio da homogeneização de amostras de tecido fresco das folhas e raízes em nitrogênio líquido e adicionadas de solução de extração. O homogeneizado foi então centrifugado por 15 minutos, a 12.000 g e o sobrenadante utilizado nas avaliações enzimáticas. Todas as etapas necessárias ao processo foram executadas a 4°C.

A atividade das POD foi determinada pela adição do extrato enzimático bruto em uma mistura de reação, contendo tampão fosfato de potássio (pH 6,8) acrescida de pirogalol e H_2O_2 (KAR e MISHRA, 1976). O aumento na absorvância da solução, lida a 420nm, foi registrado no intervalo de 0:2:3:4:5 segundos após o início da reação. A atividade das POD foi determinada pela formação de purpurogalina naquele intervalo, utilizando-se para os cálculos, do coeficiente de extinção molar $2,45 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (CHANCE e MAEHLEY, 1955).

A atividade das CAT, foi determinada pela adição do extrato enzimático bruto ao meio de reação, constituído de H_2O_2 e tampão fosfato de potássio (pH 7,0) (HAVIR e McHALE, 1987). A atividade da enzima foi determinada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm, no intervalo de 0 até 5 minutos após o início da reação. A atividade da CAT foi calculada, utilizando-se, o coeficiente de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (ANDERSON et al. 1995).

3.7.3. Produção

I- Fitomassa

Para a quantificação da fitomassa, no final do ciclo vegetativo, plantas foram coletadas, fracionado em caule e folha, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em uma estufa de circulação forçada, com temperatura de aproximadamente 80⁰ C até atingir o peso constante. Em seguida, foram pesadas em balança semi-analítica para obtenção da fitomassa seca das folhas, da raiz e total.

II- Teor de óleo

O teor de óleo nas sementes foi quantificado por meio de Ressonância Magnética Nuclear (RMN). A determinação de óleo foi baseada em ensaios não destrutivos onde o valor encontrado é o resultado da varredura por campo magnético na amostra (OXFORD, 2007).

III- Produtividade

Aos 50 dias após a semeadura, ocorreu o início do florescimento da planta, que se prolongou até o fim do seu ciclo. Quando as plantas atingiram aproximadamente 95 dias de semeadas, foi realizada a colheita manual, que consistiu no corte da planta inteira, no nível do solo. Em seguida, as plantas foram postas para secagem ao ar livre, por sete dias, com a finalidade de facilitar a retirada dos grãos das cápsulas. A Produtividade foi estimada levando-se em conta a produção obtida na área útil da parcela experimental.

3.8. Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), os fatores quantitativos (lâminas) submetidos análises de regressão polinomial optando-se pelo modelo de maior significância (SILVA, 2007), e os qualitativos (genótipos) foram submetidas ao teste de Tukey até 5% de significância. As análises foram processadas utilizando-se do Sistema de Análise Estatística (ASSISTAT).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de crescimento

Na Tabela 3 encontra-se o resumo da análise de variância para as variáveis de crescimento, onde se observa a influencia das lâminas de irrigação sobre a altura de plantas (AP), o diâmetro caulinar (DC) e a área foliar (AF) ($p < 0,01$). Por outro lado não foram encontradas diferenças significativas entre os genótipos, nem tampouco para a interação lâmina x genótipos.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), diâmetro caulinar(DC) e área foliar(AF) do genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha – CE, 2012.

Quadrados Médios				
F.V	G.L	AP (cm)	DC(mm)	AF (cm ²)
Bloco	2	1,4157 ^{**}	46,3624 [*]	0,7379 ^{ns}
Lâminas (L)	3	6,2996 ^{**}	346,0179 ^{**}	4804,7947 ^{**}
Linear	1	0,1781 ^{ns}	0,8146 ^{ns}	4,3212 ^{ns}
Quadrático	1	13,9977 ^{**}	960,1911 ^{**}	13280,025 ^{**}
Cúbica	1	4,7229 ^{**}	77,0478 [*]	1130,0377 ^{**}
Genótipos (G)	5	0,0246 ^{ns}	11,4247 ^{ns}	112,1498 ^{ns}
L x G	15	0,0207 ^{ns}	12,2567 ^{ns}	22,5634 ^{ns}
Resíduo	46	0,0707	11,7103	59,0974
CV(%)		15,27	29,00	16,84
Média dos Genótipos				
T3-EGSGO3		1,7466a	11,8168a	47,5930 ^a
T7-EGSGO7		1,7374 ^a	12,3749a	43,7667 ^a
T5-EGSGO5		1,6979 ^a	11,4089a	41,5397 ^a
T2-EGSGO2		1,7244a	12,2411a	50,1694 ^a
T6-EGSGO6		1,7215a	10,0859a	44,4234 ^a
T4-EGSGO4		1,8286a	12,8685a	46,4135 ^a
DMS		0,322	4,154	9,333

F.V.-Fontes de variação;G.L.- graus de liberdade;*,**,-Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente;^{ns}- não significativo pelo teste F a ($P < 0,05$) de probabilidade.

Os valores observados para a altura de plantas (AP), diâmetro caulinar (DC) e área foliar (AF) do gergelim ajustaram-se ao modelo polinomial quadrático (Figura 4). Os pontos máximos de AP (2,29 m), DC (16,81 mm) e AF (63,29 cm²) foram estimados na taxa de reposição equivalente a 86,43, 83,40 e 85,75% da ETo, respectivamente. Acrescente-se que o aumento da reposição de água no solo resultou em depleções de 61,62, 102,55 e 86,59% para AP, DC e AF, concomitantemente, atingindo valores semelhantes estatisticamente aos

encontrados com a reposição de 40% da ETo (Figura 4A, 4B e 4C). Esse comportamento evidencia a sensibilidade do gergelim tanto ao déficit quanto ao excesso de água no solo.

Diferentemente do observado, Mesquita et al. (2013), avaliando o crescimento e produção do gergelim variedade ‘seda’, verificaram com o aumento do fornecimento de água um comportamento linear para a altura de plantas, não sendo possível observar, no intervalo de 25 a 150% da ETo, uma diminuição do crescimento. Contudo, os valores encontrados no trabalho em questão estão de acordo com os preconizados pelos autores supracitados.

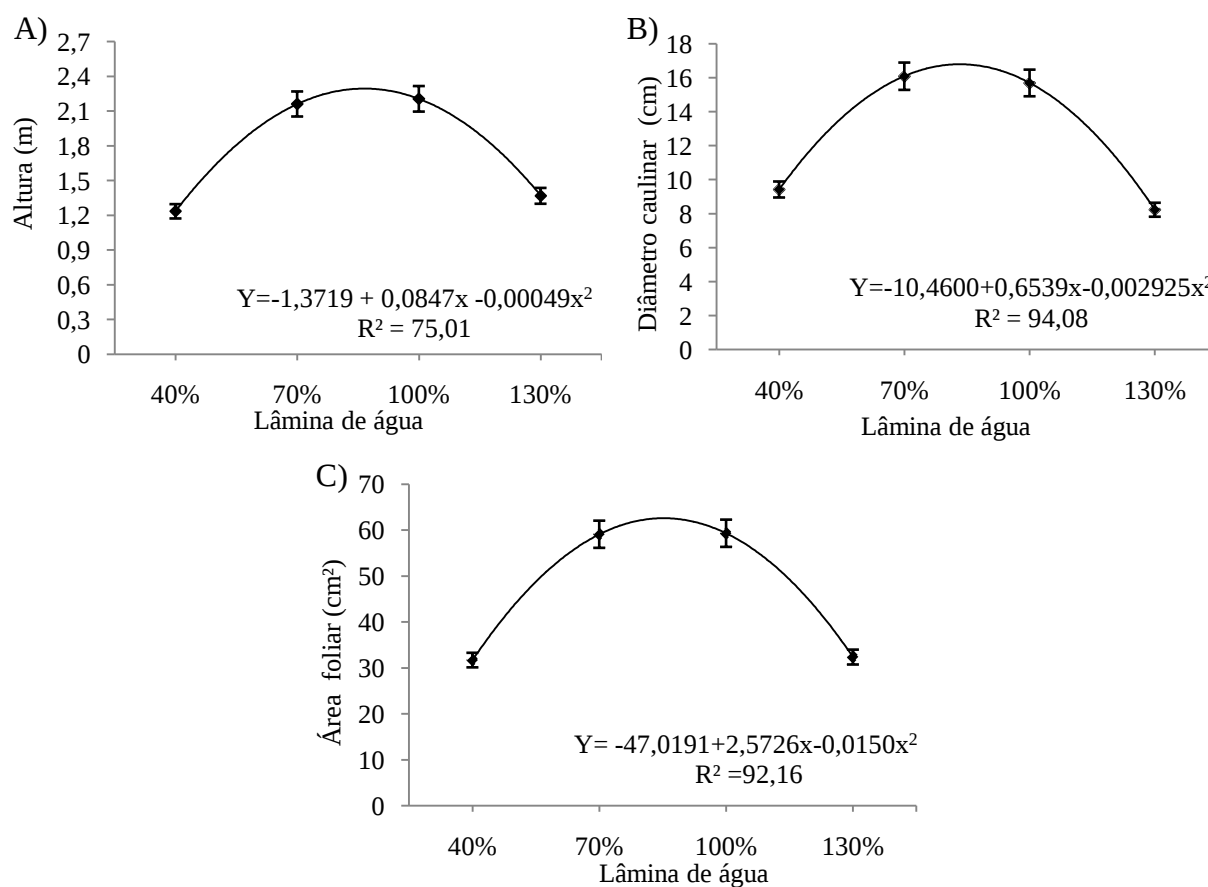


Figura 4. Altura da planta (A), diâmetro caulinar (B) e área foliar (C) do genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha-CE, 2012.

Avaliando o diâmetro caulinar em duas genótipos de gergelim (CNPA G3 e CNPA G4) cultivadas em vasos sob irrigação com água de abastecimento potável e residuária tratada, Santos et al. (2010) obtiveram o valor de 16 mm aos 90 dias após a emergência das plântulas, valor esse semelhante aos verificados no intervalo de 70 a 100% da ETo do presente estudo, porém superior aos verificados nas plantas submetidas tanto ao déficit quanto ao excesso de água (Figura 4B). Por estarem sujeitas ao acamamento, o maior crescimento em

diâmetro torna-se uma característica importante, por ter relação direta com o tombamento da plantas.

Dos órgãos vegetativos da planta, a folha merece um destaque especial porque é nela que basicamente se realiza a fotossíntese, responsável pela formação de compostos de carbono (FREIRE et al. 2004). A área foliar é um fator de crescimento da planta que traduz o tamanho do sistema de assimilação da radiação solar para realizar a fotossíntese. Sua avaliação durante todo o ciclo da cultura é de extrema importância para que se possa modelar o crescimento e o desenvolvimento da planta e, em consequência, a produtividade e a produção total da cultura.

4.2. Análises fisiobioquímicas

4.2.1. Fisiológicas

Os dados referentes aos quadrados médios das variáveis teor relativo de água (TRA), extravasamento de eletrólitos (EE), clorofila *a* (Cla), clorofila *b* (Clb), clorofila total (Cl_t) e carotenóides (CAR) estão apresentados na Tabela 4. Não foi verificada diferença estatística entre os genótipos estudados para as variáveis TRA, EE, Cla, Clb, Cl_t e CAR, o mesmo foi observado para a interação (lâminas x genótipos). Por outro lado, o fator lâmina foi significativo para todas as variáveis avaliadas ($p < 0,01$), exceto para o teor relativo de água (TRA) (Tabela 4). No entanto as relações hídricas das plantas têm sido amplamente investigadas sob condições de deficiência hídrica, sendo o potencial hídrico foliar aceito como medida indicadora das condições hídricas do vegetal (HSAIO, 1973).

Observou-se comportamento quadrático do extravasamento de eletrólitos em função do aumento da disponibilidade hídrica no solo (Figura 5A), com aumento de 50,09% até lâmina estimada de 81,55% da ETo, atingindo o valor máximo de 52,77%, seguido de uma queda de 83,02% até a reposição de 130% da ETo, na qual evidenciou-se a menor taxa de extravasamento de eletrólitos (28,83%).

O aumento no extravasamento de eletrólitos observado até a lâmina estimada de 81,55% da ETo, pode ser atribuído a uma consequência da limitação da fotossíntese imposta pela deficiência hídrica que resulta na ruptura da integridade de membrana, desencadeada pela produção de formas reativas de oxigênio (ROS), entre eles o oxigênio singlete, o radical superóxido, o peróxido de hidrogênio e o radical hidroxila. Estes compostos altamente reativos diminuem a atividade de enzimas, causam peroxidação de lipídios e afetam

praticamente todos os componentes fotossintéticos (TORRES NETO, 2005), estomáticos e à saída de íons das células-guarda em resposta ao aumento da temperatura (TAIZ e ZEIGER, 2010).

Tabela 4. Resumos das análises de variância para as variáveis: teor relativo de água (TRA), extravasamento de eletrólitos (EE), clorofila *a* (Cla), clorofila *b* (Clb), clorofila total (Clt) e carotenóide (CAR) em genótipos de gergelim submetidos à diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha, CE, 2012.

F.V	G.L	Quadrados Médios					
		TRA	EE	Cla	Clb	Clt	CAR
Bloco	2	231,53*	131,14*	130782,32**	136,99 ^{ns}	1150,06 ^{ns}	7473,16**
Lâminas (L)	3	133,46 ^{ns}	5012,06**	365794,53**	3082,73**	142850,5**	10221,40**
Linear	1	248,56 ^{ns}	515,34**	4810,74 ^{ns}	16,17 ^{ns}	82576,9**	5150,13 ^{ns}
Quadrático	1	30,22**	6134,68**	753471,70**	6002,17**	205426,2**	14314,25**
Cúbica	1	121,60**	8386,16**	339101,17**	3229,83**	140548,3**	11199,81**
Genótipos (G)	5	22,40 ^{ns}	101,98*	9377,03 ^{ns}	144,85 ^{ns}	2705,31 ^{ns}	171,34 ^{ns}
L x G	15	27,45 ^{ns}	10,12 ^{ns}	6087,27 ^{ns}	325,36 ^{ns}	1410,36 ^{ns}	496,07 ^{ns}
Resíduo	46	54,59	39,79	5845,59	202,90	1764,7	1416,75
CV(%)		11,52	15,49	22,77	30,13	15,75	22,28
Média dos Genótipos							
T3-EGSGO3		65,82a	44,11a	317,09a	43,45a	236,79a	163,39 ^a
T7-EGSGO7		65,35a	36,57a	293,39a	48,90a	270,94a	168,91 ^a
T5-EGSGO5		64,43a	38,28a	365,47a	49,39a	266,94a	165,40 ^a
T2-EGSGO2		63,79a	43,31a	361,92a	52,21a	277,05a	172,68 ^a
T6-EGSGO6		62,91a	40,29a	328,75a	43,73a	275,63a	172,17 ^a
T4-EGSGO4		62,32a	41,70a	347,90a	45,91a	271,99a	170,86 ^a
DMS		8,97	7,65	92,82	17,29	51,00	45,69

F.V.-Fontes de variação;G.L.- graus de liberdade;**,*-Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente,^{ns}- não significativo pelo teste F a (p<0,05) de probabilidade.

Segundo Amarante et al. (2007), a clorofila constitui um dos principais fatores relacionados à eficiência fotossintética das plantas e, consequentemente, ao crescimento e adaptabilidade à diferentes ambientes e condições adversas ocasionadas pelos variados tipos de estresse. A deficiência hídrica está intimamente relacionada a perda de pigmentos e, consequentemente, a redução da capacidade fotossintética e produtiva dos vegetais. Nesse sentido, a análise dos pigmentos fotossintéticos é uma ferramenta imprescindível para a avaliação da sanidade e integridade dos aparatos internos da célula durante o processo de fotossíntese (RONG-HUA et al. 2006), bem como um indicador dos danos sofrido ao aparato fotossintético.

Os teores de clorofila *a*, *b* e total estão apresentados nas Figuras 5B, 5C e 5D, onde observa-se os valores máximos (485,66; 66,07 e 339,22 $\mu\text{mol m}^{-2}$) nas lâminas estimadas de 81,69, 84,93 e 73,88% da ETo, respectivamente. A reposição de água acima dos valores

citados anteriormente, provocou uma redução do conteúdo de clorofila nas plantas de gergelim, atingindo valores inferiores aos verificados com a taxa de 40% da ETo.

Esse comportamento indica que as plantas de gergelim são mais suscetíveis ao estresse provocado pelo excesso de água do que pela falta desta, visto que a cultura é considerada, em geral, resistente à seca e apta para o cultivo em zonas áridas e semiáridas e em épocas de escassa precipitação (PASCHOLATI e WULFF, 2005).

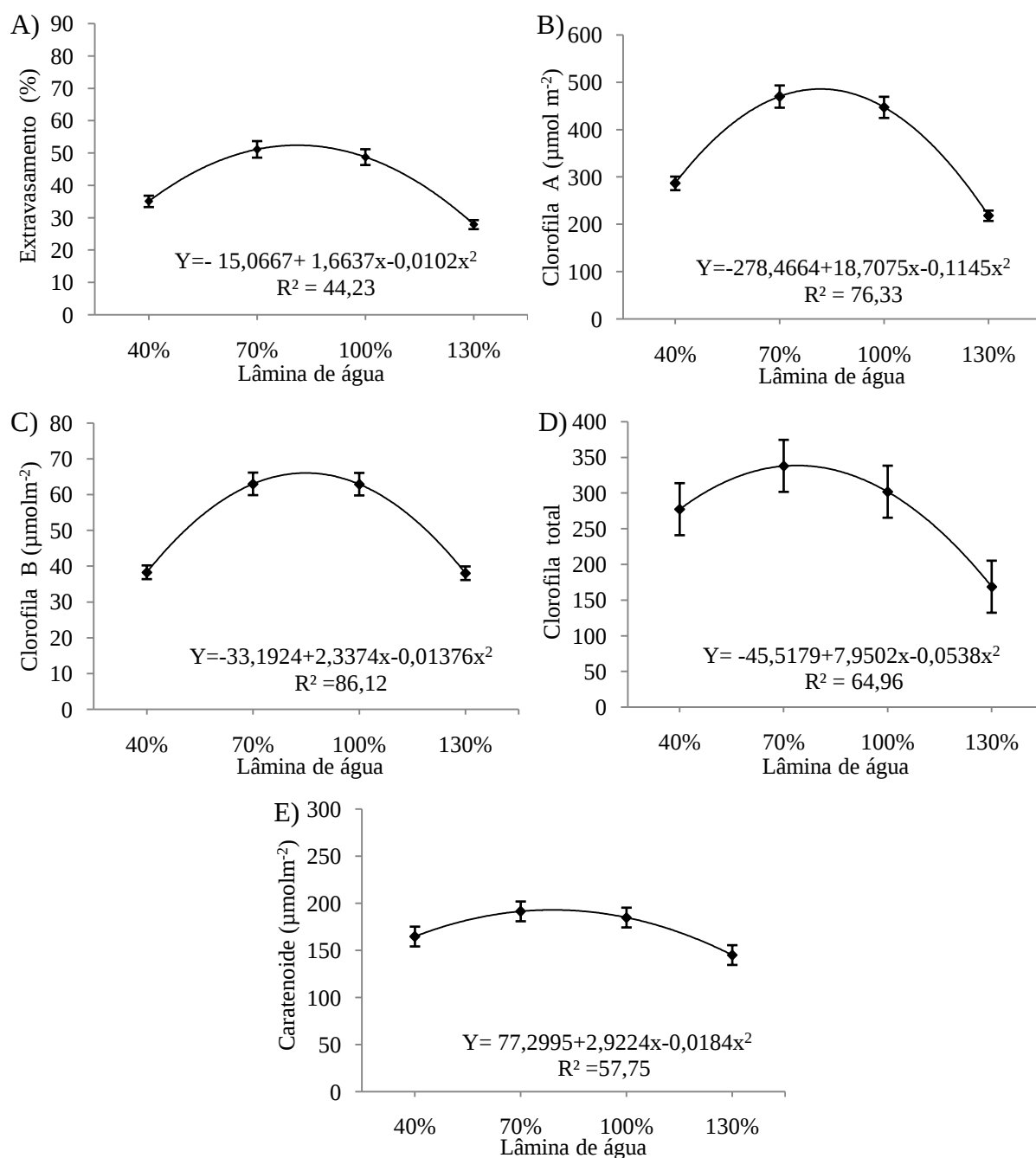


Figura 5. Extravasamento de eletrólitos (A), conteúdos de clorofila *a* (B), clorofila *b* (C), clorofila total (D) e carotenóides (E) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha-CE, 2012.

A clorofila *b*, considerada um pigmento acessório, é um composto bioquímico presente nos cloroplastos que auxiliam a absorção de luz. Sua produção está diretamente associada a produção de clorofila *a* (STREIT et al. 2005), sendo mais intensa quando as

plantas estão expostas a condições de estresse. Nesse sentido, os menores valores encontrados nas lâminas de 40 e 130% da ETo pode ser um indicativo de ausência de estresse nas plantas.

Os carotenóides são compostos notáveis por possuírem ampla distribuição na natureza, estruturas químicas diversas e funções variadas, sendo considerado um pigmento acessório nas plantas por atuar na absorção e transferência da energia para as clorofilas. Sua principal característica é a longa série de duplas ligações conjugadas formando a parte central da molécula. Os mais comuns na natureza ocorrem na forma trans, conferindo-os reatividade química e a propriedade de absorção do cromóforo (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). Os carotenóides são classificados segundo sua estrutura química como carotenos, quando constituídos por carbono e hidrogênio, ou xantofilas, caracterizadas pela presença de um ou mais grupos funcionais contendo oxigênio (BRITTON, YOUNG, 1993).

No estudo em questão a maior concentração de carotenóides ($193,33 \mu\text{mol m}^{-2}$) foi obtida com a aplicação da lâmina de água estimada em 79,41% da ETo. Comparando a concentração máxima de carotenóides encontrada com os valores verificados nas lâminas de 40 e 130% da ETo, observou-se um incremento de 17,34% na concentração de carotenóides com a variação da lâmina de 40 a 79,41%, seguido de uma depleção de 32,19% na concentração desse pigmento com o aumento da lâmina até a taxa de 130% da ETo.

A determinação da concentração de carotenóides nas folhas de plantas submetidas a algum tipo de estresse é importante devido ao fato de o excesso energético provocado pela luz interceptada pelo dossel vegetal ser dissipado por esses pigmentos no PS II, onde atuam como fotoprotetores, desativando o oxigênio singlete e tripleto, absorvendo a energia presente nesses compostos durante sua formação, e convertendo-os em suas formas básicas prevenindo os danos causados às células vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2009; SIMÃO, 2010).

Nessa conjectura, pode-se inferir que as plantas com menores teores desse pigmento estariam mais sujeitas a danos provocados pelo excesso de luz ao fotossistema. Não obstante, a redução de carotenóides aliado ao baixo conteúdo de clorofila *a* nas folhas de plantas submetidas tanto a falta como ao excesso de água, pode contribuir para o aumento das injúrias ao mecanismo fotossintético, acarretando em limitações no crescimento, desenvolvimento e produção.

4.2.2. Análises bioquímicas

Houve efeito isolado das lâminas para as variáveis proteína da folha (PF), proteína da raiz (PR), carboidratos da folha (CF), carboidratos na raiz (CR), catalase (CAT) e peroxidase (PER) ($p < 0,01$) (Tabela 5). A análise conjunta dos fatores não revelou efeito significativo da interação lâmina x cultivar sobre as variáveis em estudo. Já entre os genótipos estudadas foram constatadas diferenças para as variáveis proteína da folha (PF), proteína da raiz (PR) e catalase (CAT) ($p < 0,05$).

Tabela 5. Resumos das análises de variância para as variáveis proteína da folha (PF), proteína da raiz (PR), carboidratos da folha (CF), carboidratos da raiz (CR), catalase (CAT) e peroxidase (PER) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha-CE, 2012.

Quadrados Médios							
F.V	G.L	PF	PR	CF	CR	CAT	PER
Bloco	2	362,30 ^{**}	1226,28 [*]	92,70 ^{ns}	45,34 ^{ns}	18,07 [*]	80,12 ^{ns}
Lâminas (L)	3	5803,66 ^{**}	57988,23 ^{**}	6375,47 ^{**}	3907,83 ^{**}	117,25 ^{**}	3781,36 ^{**}
Linear	1	7,22 ^{ns}	948,44 ^{ns}	920,92 ^{**}	617,56 [*]	5,15 ^{ns}	587,45 ^{ns}
Quadrático	1	12911,98 ^{**}	122312,10 ^{**}	16719,80 ^{**}	9277,71 ^{**}	223,03 ^{**}	9637,53 ^{**}
Cúbica	1	4491,78 ^{**}	50704,13 ^{**}	1485,67 ^{**}	1828,21 ^{**}	123,57 ^{**}	1119,10 [*]
Genótipos (C)	5	145,67 [*]	2504,98 [*]	48,97 ^{ns}	202,46 ^{ns}	12,77 [*]	350,91 ^{ns}
L x G	15	41,32 ^{ns}	1097,80 ^{ns}	7,70 ^{ns}	112,69 ^{ns}	3,71 ^{ns}	185,67 ^{ns}
Resíduo	46	46,10	886,74	37,17	128,98	4,82	244,94
CV(%)		15,20	12,25	12,28	20,54	30,42	33,92
Média dos Genótipos							
T3-EGSGO3		41,60b	213,71b	49,84a	48,13a	8,34a	36,36 ^a
T7-EGSGO7		43,31ab	248,77ab	47,06a	56,25a	6,35a	47,05 ^a
T5-EGSGO5		42,99b	246,21ab	49,42a	57,75a	6,46a	48,55 ^a
T2-EGSGO2		51,46a	250,91a	52,49a	60,10a	8,67a	52,71 ^a
T6-EGSGO6		44,68ab	250,43a	47,85a	55,87a	6,48a	45,52 ^a
T4-EGSGO4		43,94ab	247,96ab	51,18a	53,65a	6,97a	46,61 ^a
DMS		8,24	36,15	7,40	13,79	2,66	19,00

F.V.-Fontes de variação; Graus de liberdade;*-Significativo a 5% respectivamente;^{ns}- não significativo pelo teste F a ($P < 0,05$) de probabilidade.

O incremento da reposição de água resultou em aumentos no teor de proteínas solúveis na folha e na raiz dos genótipos de gergelim, sendo os valores máximos estimados (57,53 e 294,57 $\mu\text{g mL}^{-1}$) encontrados com a reposição de 84,60 e 82,28% da ETo, respectivamente (Figura 6A e 6C). A partir de então, observou-se um decréscimo médio de 1,75 e 0,71% nos teores de carboidratos na folha e na raiz a cada ponto percentual acrescentado as lâminas de reposição hídrica, concomitantemente. Ressalte-se, que como citado anteriormente, os valores

encontrados na lâmina máxima aplicada (130% da ETo) foram inferiores aos verificados na taxa de reposição equivalente a 40% da ETo, contudo semelhantes estatisticamente.

Para os genótipos de gergelim, observou-se que a G4 (T2-EGSGO2) obteve os maiores valores proteína solúvel nas folhas e raízes, com acréscimo de 23,70 e 37,20% quando comparadas com os menores valores encontrados na G1 (T3-EGSGO3), respectivamente.

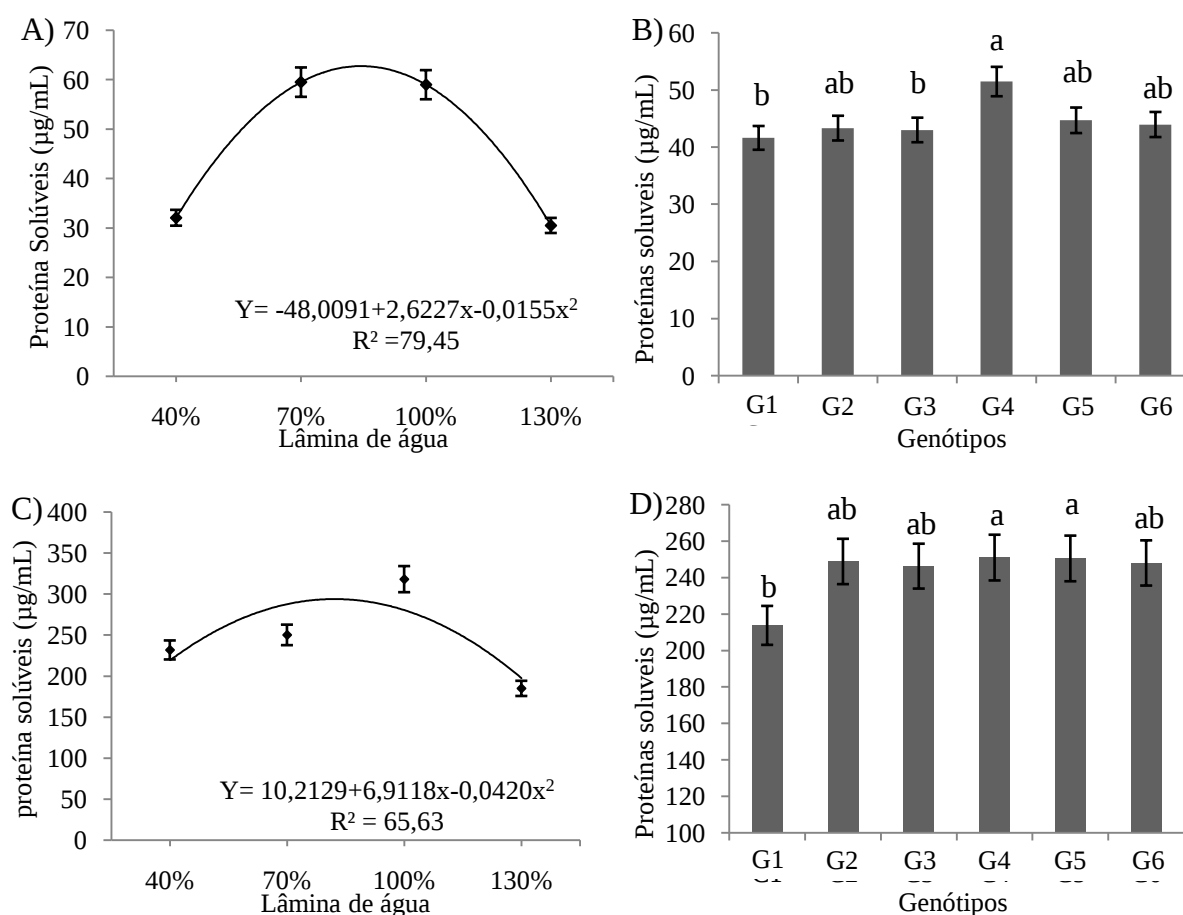


Figura 6. Teores de proteínas solúveis nas folhas (A e B) e raízes (C e D) do genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha-CE, 2012.

A redução do nível de proteínas pode ser um indicativo de distúrbios causados por estresses abióticos. Nos limites biológicos, sob aumento do estresse hídrico, as reações das células duplicam de velocidade e incrementa o gasto energético para manter as estruturas celulares e aumentando a respiração ineficiente resistente ao cianeto, também denominada de alternativa (MARENCO e LOPES, 2009), que produz somente 7 unidades de ATP, moeda energética da célula, por mol de glicose oxidada. Enquanto a respiração normal, produz em

media 29 ATP por mol de glicose oxidada completamente no citosol (glicólise) e nas mitocôndrias no ciclo dos ácidos tricarboxílicos Taiz e Zeiger (2010).

O incremento nos teores de proteína total nas folhas do gergelim submetido ao estresse anoxítico, é uma reação global de elevada complexidade, pois envolve proteínas estruturais e funcionais que, por sua vez, englobam enzimas hidrolíticas e sintéticas, que são afetadas diferentemente pelos estresses do ambiente (LEVITT, 1972). Em geral, sob condições de estresse, proteínas funcionais de síntese são reduzidas, aumentando os teores das degradativas e, às vezes das estruturais e, assim, o conteúdo total .

Quanto ao teor de carboidratos solúveis nas folha e raízes do genótipos de gergelim, observou-se ajuste ao modelo polinomial quadrático com alto poder de predição como apresentado na figura 7A e 7B. O conteúdo máximo de carboidratos solúveis nas folhas ($69,07 \mu\text{g mL}^{-1}$) foi estimado na lâmina de 82% da ETo, com um incremento de 75,96% em relação ao conteúdo constatado com a aplicação de 40% da ETo. Já para os carboidratos na raiz, a lâmina estimada de 80,10% proporcionou a concentração máxima de $72,08 \mu\text{g mL}^{-1}$, sendo observado depleção de 78,14% na concentração de carboidratos com o aumento da lâmina até a reposição de 130% da ETo.

A baixa concentração de carboidratos nas plantas submetidas tanto ao deficit quanto ao excesso pode estar associado ao consumos destes para a sobrevivência nas condições descritas. Meneses et al. (2006) relatam a existência de forte correlação entre o acúmulo de açúcares e a tolerância ao estresse osmótico em plantas.

Shahidi et al. (2006) obtiveram teor de carboidratos solúveis totais superior no gergelim preto, quando comparado ao creme, com valores expressos em equivalentes de catequina. O mesmo foi observado em análise de sorgo, cujo conteúdo médio de carboidratos solúveis totais foi maior nos grãos vermelhos ($1,39 \text{ mg g}^{-1}$ de EAG), em comparação aos brancos ($0,40 \text{ mg g}^{-1}$ de EAG) (DICKO et al. 2002). Em arroz (*Oryza sativa* L.), os maiores teores de carboidratos solúveis totais são encontrados nos grãos com pericarpo preto e vermelho, em detrimento do marrom-claro. De acordo com Walter (2009), essas variações podem ser atribuídas, principalmente, à cor dos grãos. De fato, Tian et al. (2004) observaram que a cor do arroz está relacionada ao conteúdo de compostos carboidratos solúveis totais, e grãos com coloração mais escura apresentam teor consideravelmente mais elevado desses compostos.

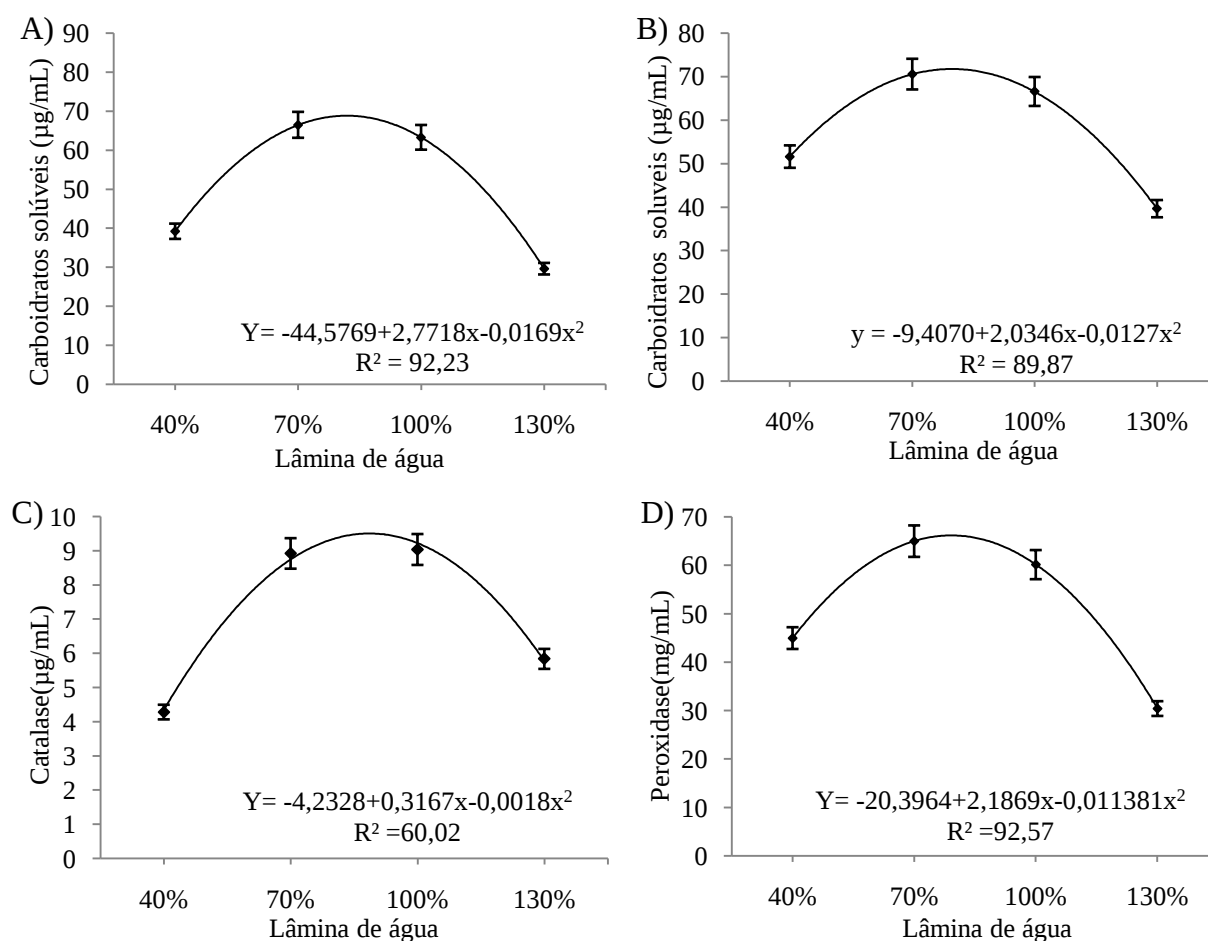


Figura 7. Teores de carboidratos solúveis nas folhas (A), nas raízes (B), atividade da catalase (C) e peroxidase (D) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha-CE, 2012.

As plantas protegem suas células e compartimentos sub-celulares dos efeitos citotóxicos das espécies reativas de oxigênio com o auxílio de enzimas antioxidantes, como a catalase e a peroxidase. Em ambiente natural, as respostas antioxidativas às variações abióticas são induzidas por mecanismos semelhantes, que resultam em adaptações a épocas mais secas ou mais úmidas, a dias de maior ou menor incidência luminosa, como também a baixas e altas temperaturas, visto que esses levam ao aumento das concentrações das espécies reativas de oxigênio, e, conseqüentemente, estimulam do mesmo modo os antioxidantes (BRAY et al. 2000, KUK et al. 2003, BULBOVAS et al. 2005).

A catalase é uma das principais enzimas na eliminação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) gerado durante a fotorrespiração e β -oxidação dos ácidos graxos, atua nos peroxissomos, glioxissomos e citosol, e pode ser encontrada também em mitocôndrias, convertendo H_2O_2 à H_2O e oxigênio (DUBEY, 2010).

As peroxidases são substâncias de elevado peso molecular, capazes de eliminar o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) produzido durante o processo de dismutação não enzimática ou enzimática (CAVALCANTI et al. 2005), utilizando este para oxidar um substrato. Além da remoção do H_2O_2 , as PODs estão envolvidas em vários processos fisiológicos nas plantas, entre eles, o metabolismo da auxina, a formação de suberina, defesa contra patógenos, alongamento celular e defesa contra estresses bióticos e abióticos (KARUPPANAPANDIAN et al. 2011).

No presente estudo, de maneira geral, a reposição hídrica abaixo de 80% e acima de 100% da ETo reduziram a atividade enzimática antioxidante. Para a catalase, a menor atividade foi observada com a aplicação de 40% da ETo, contudo o aumento da disponibilidade hídrica incrementou a atividade dessa enzima até o ponto máximo ($9,69 \mu g mL^{-1}$) estimado com a aplicação da lâmina correspondente a 87,97% da ETo. Diferentemente do observado, para a peroxidase, a menor atividade foi verificada com a aplicação de 130% da evapotranspiração de referência. A atividade máxima estimada ($84,66 \mu g mL^{-1}$) para a peroxidase foi averiguada na lâmina estimada em 96,07% da ETo. Essa diminuição da atividade das enzimas nas plantas submetidas a condição de estresse hídrico pode ser um indicativo de não adaptação da planta ao ambiente estressante.

Resultados semelhantes para a atividade enzimática foi verificado por Mittal e Dubey (1991) em variedades tolerantes de arroz. Siegel et al. (1982) observaram uma redução na atividade da peroxidase em *Brassica* cultivada em solução salina. Em folhas, a atividade enzimática foi reduzida a 40% e em raízes a 33%, quando comparadas com a atividade da enzima em plantas cultivadas em solução nutritiva completa sem NaCl.

4.3. Produção

Os dados referentes aos quadrados médios das variáveis fitomassa da parte aérea (FPA), fitomassa da raiz (FR), fitomassa total (FT), produtividade (PROD) e teor de óleo das sementes estão apresentadas na Tabela 6. Verificou-se efeito significativo do fator lâmina para todas as variáveis estudadas, com exceção da FPA que não sofreu influência de nenhum fator estudado, nem tampouco da interação entre eles. Quanto ao fator genótipos não foi verificado diferenças para as variáveis analisados, contudo a interação lâmina x cultivar foi significativa para a FT ($p < 0,01$).

Tabela 6. Resumos das análises de variância para as variáveis fitomassa da parte aérea (FPA), fitomassa da raiz (FR), fitomassa total (FT), produtividade (P) e teor de óleo (To) em genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha-CE, 2012.

F.V	G.L	Quadrados Médios				
		FPA	FR	FT	P	To
Bloco	2	0,000671 ^{**}	13,927 ^{**}	5,418 [*]	85689,758 [*]	131,801 ^{ns}
Lâminas (L)	3	0,006070 ^{ns}	18,756 ^{**}	67,543 ^{**}	578575,204 ^{**}	2845,351 ^{**}
Linear	1	0,000084 ^{ns}	7,128 ^{ns}	4,534 ^{ns}	14357,775 ^{ns}	7,140 ^{ns}
Quadrático	1	0,011860 ^{ns}	21,901 ^{**}	159,965 ^{**}	727549,888 ^{**}	6046,365 ^{**}
Cúbica	1	0,006266 ^{ns}	27,237 ^{**}	38,130 ^{**}	993817,953 ^{**}	2482,549 ^{**}
Genótipos (G)	5	0,000037 ^{ns}	1,416 ^{ns}	1,034 ^{ns}	12943,420 ^{ns}	143,614 ^{ns}
L x G	15	0,000016 ^{ns}	2,059 ^{ns}	5,339 ^{**}	11122,65 ^{ns}	160,711 ^{ns}
Resíduo	46	0,000103	2,030	1,4947	23117,187	86,403
CV(%)		0,97	38,15	23,85	35,68	20,87
T3-EGSGO3		1,0468a	4,193a	4,835a	384,979a	39,671a
T7-EGSGO7		1,0460a	3,384 ^a	5,079a	383,220a	46,838 ^a
T5-EGSGO5		1,0433a	3,848 ^a	5,344a	450,538a	44,169 ^a
T2- EGSGO2		1,0446a	4,026 ^a	5,263a	453,103a	49,469 ^a
T6-EGSGO6		1,0441a	3,359 ^a	5,489a	441,345a	45,054 ^a
T4-EGSGO4		1,0420a	3,597 ^a	4,473a	443,553a	42,058 ^a
DMS		0,0123	1,730	1,484	184,589	11,285

F.V.-Fontes de variação; Graus de liberdade;*-Significativo a 5% respectivamente;^{ns}- não significativo pelo teste F a (P<0,05) de probabilidade.

De acordo com a análise de regressão, observou-se que os dados relativos a fitomassa seca da raiz (FR) e fitomassa seca total (FT) se ajustaram ao modelo polinomial quadrático (Figura 8A e 8B), com os valores máximos encontrados nas lâminas de reposição equivalentes à 77,73 e 86,07% da ETo, sendo após esse ponto, verificada uma tendência de queda no acúmulo de matéria seca da ordem de 54,97% para a FR e FT, respectivamente. Comparando os valores máximos estimados para FR e FT (4,74 e 7,61 g) com os valores verificados com a aplicação de 40% da ETo a diferença passa a ser de 29,02 e 75,93%, concomitantemente (Figura 8A e 8B).

Na Figura 8C estão apresentados a fitomassa seca total (FT) dos genótipos de gergelim submetidas a diferentes níveis de reposição da ETo. Os maiores acúmulos de FT no gergelim foram encontrados com a aplicação de 100% da ETo, com exceção da cultivar 6 (T4-EGSGO4) que teve o maior acúmulo na lamina correspondente a 70% da evapotranspiração de referência. Por outro lado, a aplicação de 130% da ETo resultou em depleção na ordem de 210,32, 235,11, 207,91, 51,17 e 232,58% na fitomassa seca total das genótipos T3-EGSGO3 (G1), T7-EGSGO7 (G2), T5-EGSGO5 (G3), T2- EGSGO2 (G4) e T6-EGSGO6 (G5), respectivamente, quando comparadas com os valores encontrados com a aplicação de 100%

da ETo. Para a cultivar 6 (T4-EGSGO4) foi registrado decréscimo de 117,53% na FT com a variação de 70 para 130% da evapotranspiração de referência.

Não foi verificada diferença estatística entre os genótipos sob aplicação de 40% da ETo, o que pode ser explicado pela característica de tolerância a deficiência hídrica, intrínseca da cultura do gergelim.

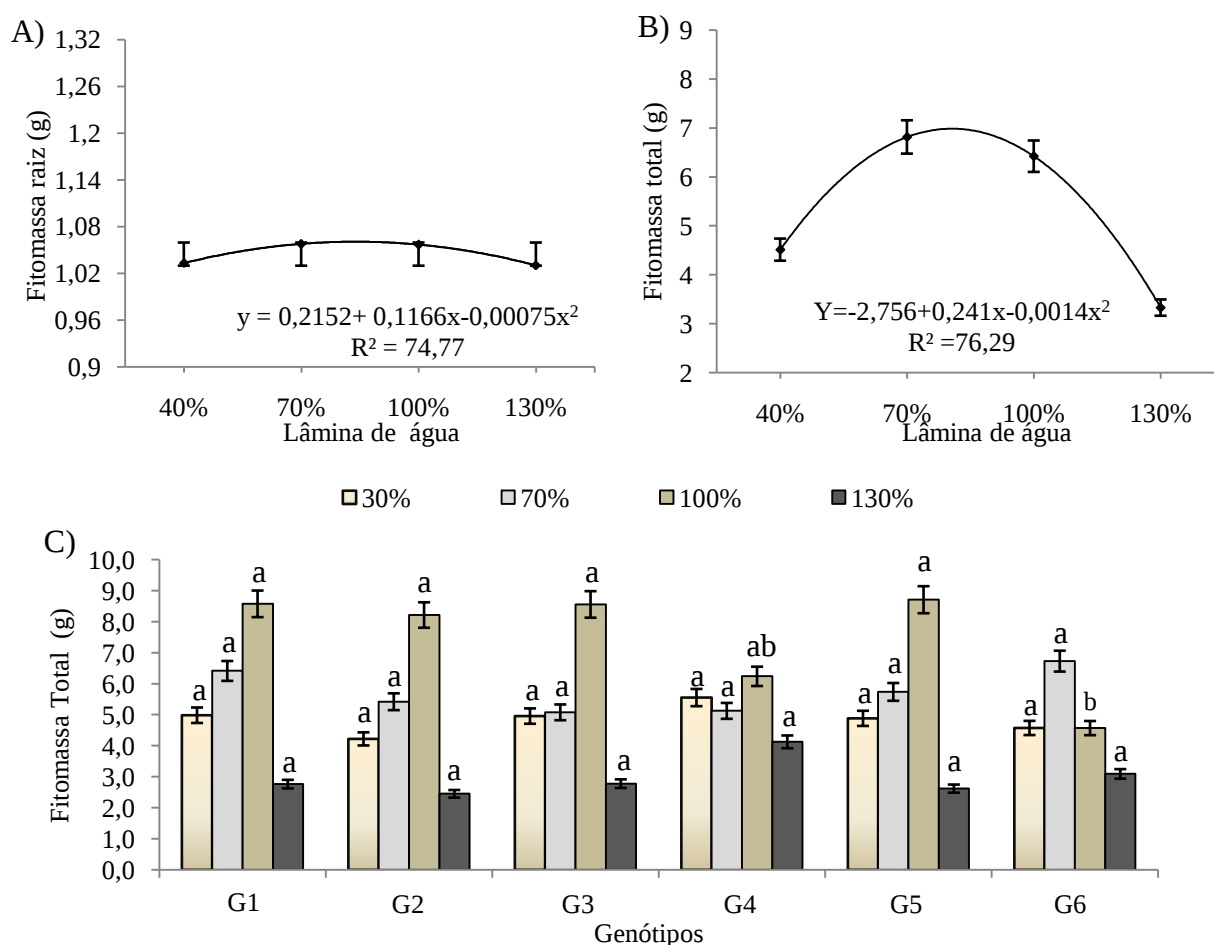


Figura 8. Fitomassa seca das raízes (A) e fitomassa seca total (B e C) do genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha-CE, 2012.

O déficit hídrico afeta praticamente todos os processos fisiológicos, inclusive o acúmulo de matéria seca, que é o principal responsável pela produção (BOYER, 1976). A matéria seca radicular foi bastante reduzida nas condições de estresse hídrico, tanto pelo déficit quanto pelo excesso. Esses resultados corroboram com observados por Távora e Melo (1991) e Correia e Nogueira (2004) em amendoim, Costa (1995) e Rocha (2001) em feijão de corda, Pimentel e Perez (2000) em feijão comum.

No que diz respeito à produtividade do genótipos de gergelim (Figura 9A), a análise de regressão realizada nos dados se ajustou melhor ao modelo polinomial quadrático. Onde a aplicação de 40% da evapotranspiração de referência resultou na menor produtividade média (295,40 kg ha⁻¹) encontrada no presente estudo, menor inclusive que as médias mundial (481,4 kg ha⁻¹) e nacional (600 kg ha⁻¹), com plantações em regime de sequeiro (SILVA et al. 2008). A partir da lâmina de 40% de ETo, houve um grande salto de produtividade, alcançando um máximo de 595,31 kg ha⁻¹ se irrigada com uma lâmina estimada em 87,55% da evapotranspiração de referência, onde após esta lâmina observa-se uma tendência de queda da produtividade por volta de 67%.

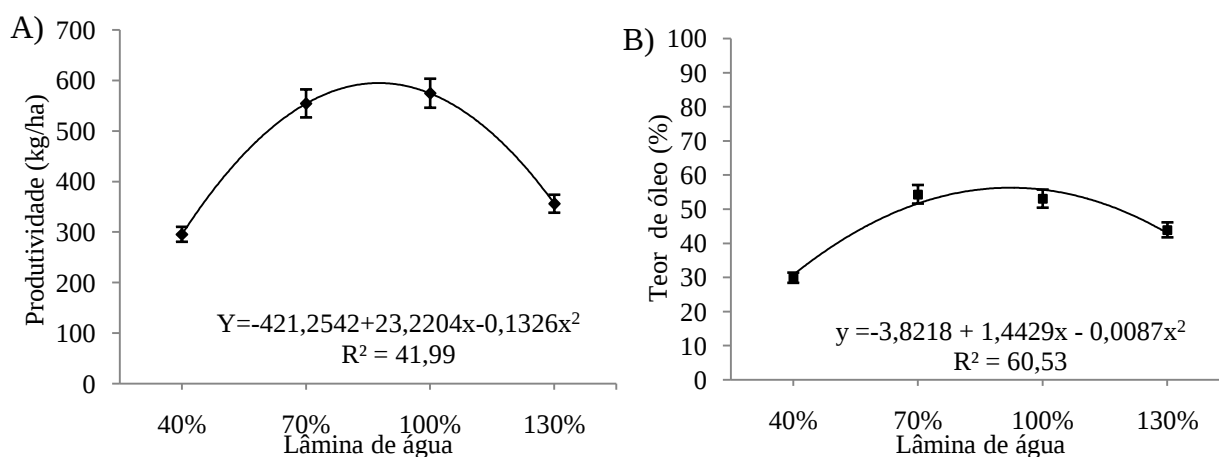


Figura 9. Produtividade de grãos (A) e teor de óleo nas sementes (B) do genótipos de gergelim submetidos a diferentes taxas de reposição hídrica. Barbalha-CE, 2012.

De um modo geral, observou-se que o gergelim expressa menores potenciais de produção nos tratamentos com os menores e maiores níveis de irrigação. Este fato está diretamente relacionado às condições de déficit hídrico sofrido, já que as plantas utilizam o mecanismo de fechamento dos estômatos, a fim de se protegerem das perdas de água por transpiração, acarretando uma redução na taxa fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 2010).

Perin et al. (2010), em experimento de campo, obtiveram uma produtividade média de 842,43 kg/ha⁻¹, enquanto Mesquita (2010), através de estudos em casa de vegetação com o gergelim, estimaram uma produtividade de 1.000 kg/ha⁻¹ aplicando uma dose de 125 Kg/ha⁻¹ via fertirrigação. Esses valores são bem superiores aos encontrados neste experimento.

No entanto Lima (2011), em uma área de 15 m², na Estação Experimental de Barbalha/CE, utilizando o gergelim da linhagem LSGI-5, com espaçamento de 10 cm entre plantas e 60 cm entre fileiras, estimaram para uma população de 400.000 plantas por hectare, uma produtividade de 2.929 kg. Deve-se esclarecer que este valor é bastante elevado por ter sido realizado em uma área bastante reduzida. Caso o experimento fosse realizado em escala real, o controle sobre o manejo do solo, da água e das plantas não teria sido tão eficaz, diminuindo, com isso, a produtividade.

É sabido que o óleo do gergelim é rico em ácidos graxos insaturados, como oléico (47%) e linoléico (41%), e apresenta vários constituintes secundários que são importantíssimos na definição de suas propriedades química, como o sesamol, a sesamina e a sesamolina. O sesamol com suas propriedades antioxidantes confere ao óleo elevada estabilidade química evitando a rancificação, sendo o de maior resistência à oxidação entre os demais óleos de origem vegetal (BELTRÃO et al. 1994; FIRMINO, 1996).

Nesse contexto, o teor de óleo no gergelim torna-se uma das variáveis mais importantes para se avaliar a viabilidade da cultura no ponto de vista econômico. Os resultados obtidos neste experimento para o teor de óleo estão apresentados na Figura 9B. Observa-se um aumento do teor de óleo em consequência ao incremento da reposição hídrica até a lâmina estimada de 82,92% da ETo, obtendo-se nesta o teor máximo de óleo nas sementes (56%) superior em 40,1% em relação ao verificado com a aplicação da menor lâmina de irrigação (39,72%). No entanto, o incremento da lâmina acima de 82,92% resultou em depleção média de 52,49% no teor de óleo das sementes, atingindo o valor mínimo observado de 36,72%.

A semente de gergelim contendo 50% de óleo, ocupando metade da sua superfície, enquanto que a percentagem de água da semente equivale a determinação, hipoteticamente, apenas na outra metade da sua superfície. Esta ilustração é teoricamente correta, porque se tratam de substâncias químicas não miscíveis (água/óleo). Já a semente de milho, cujo teor de óleo oscila entre 3,5% a 5%, praticamente quase 85% desse óleo se concentra no seu embrião (TOLEDO e MARCOS FILHO, 1977).

5. CONCLUSÕES

- 1- O maior crescimento e, conseqüentemente, produção são verificados com a aplicação de lâminas entre 75 e 90% da evapotranspiração de referência;
- 2- O conteúdo de pigmentos, clorofila *a* e *b*, total e carotenóides, em genótipos de gergelim são incrementados com a aplicação de, em média, 80% da ETo;
- 3- A cultivar T3-EGSGO3 tem o teor de proteínas reduzido em suas folhas e raízes, em relação as demais;
- 4- A atividade enzimática dos genótipos de gergelim é reduzida nas plantas sob estresse hídrico, tanto por deficiência quanto por excesso;
- 5- A irrigação com taxas superiores a 90% da ETo reduzem drasticamente o crescimento e produção do gergelim;
- 6- A produtividade e teor de óleo nas sementes são maximizadas com a aplicação de lâminas entre 80 e 90% da evapotranspiração de referência;
- 7- Os genótipos de gergelim são mais suscetíveis ao estresse por excesso de água do que ao estresse por deficiência hídrica;
- 8- O potencial máximo de produção do gergelim é encontrado com a aplicação de lâminas de água no intervalo de 75 a 90% da ETo.

11. REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, A. C. C. Resposta do feijoeiro à aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 27, n. 1, p. 69-75, 2005.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; PAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 328 p. 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMABILE, R.F.; FARIAS NETO, A.L.; SPEHAR, C.R.; ARRIEL, N.H.C.; BELTRÃO, N.E.M. CNPA G3: **Nova opção de gergelim para a região do Distrito Federal**. EMBRAPA Cerrados, Planaltina. 2001. 3p. (Comunicado Técnico, 43).
- AMABILE, F.R. et al. Severidade da mancha de alternaria em cultivares de girassol na região do Cerrado do Distrito Federal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, p.251-257, 2002.
- AMARAL, J. A. B.; SILVA, M. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 25-33, 2008.
- AMARANTE, L. do; OLIVEIRA, C. D. S.; ZENZEN, M. L.; BERNARDI, E. Teores de clorofilas em soja associada simbioticamente com diferentes estirpes de bradyrhizobium sob alagamento. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, p. 906-908, 2007
- ANDERSON, M.D.; PRASAD, T.K.; STEWART, C.R. Changes in isozyme profiles of Catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotylus of maize seedlings. *Plant Physiology*, v. 109, n. 4, p. 1247-1257, 1995.
- ARAÚJO, J.M. de; OLIVEIRA, J.M.C. de; CARTAXO, W.V.; VALE, D.G.; SILVA, M.B. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (Campina Grande, PB). **Vamos plantar gergelim**, Campina Grande, 1999. 19 p.
- ARRIEL, N. H. C.; ARAÚJO, A. E. de; SOARES, J. J.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIRMINO, P. de T. **Cultura do Gergelim**. EMBRAPA: Sistema de produção, 6 (Versão eletrônica), Campina Grande, 2006.
- ARRIEL, N.H.C.; FIRMINO, P. de T.; BELTRÃO, N.E. M. Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília DF, **Embrapa Informação Tecnológica**, 2009, 209p.

BARROS, M. A .L.; SANTOS, R. F. dos; BENATI, T.; FIRMINO, P. de T.; Importância Econômica e Social. In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, DIRCEU JUSTINIANO. O Agronegócio do gergelim no Brasil. Brasília: EMBRAPA, **Comunicação para Transferência de Tecnologia**, 2001. 348p.

BARROS, V. S.; COSTA, R. N. T.; AGUIAR, J. V. Função de produção na cultura do melão para níveis de água e adubação no vale do Curú-CE. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 2, p. 99, 2002.

BASTOS, E. **Manual de irrigação**: Técnicas para instalação de qualquer sistema na lavoura. Coleção Brasil agrícola, 3 ed, São Paulo, 1991. 103 p.

BELTRÃO, N. E. M; FREIRE, E. C.; LIMA, E. F. **Gergelim cultura no trópico semi-árido Nordeste**. Campina Grande: EMBRAPA - CNPA, 1994. 52p. (EMBRAPA - CNPA, Circular Técnica, 18).

BELTRÃO, N.E.M.; VIEIRA, D.J. **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. 348p.

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

BERNARDO, S.; **Manual de Irrigação**. 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 7 ed. Atualizada e ampliada. Universidade Federal de Viçosa, UFV 2005. 611p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: Ed. UFV, 625p, 2009.

BENINCASA, M. M. P. Análise de Crescimento de Plantas: Noções Básicas. **2ª ed. Jaboticabal**: Funep, 41 p. 2003.

BEZERRA, S. A. **Crescimento e desenvolvimento do gergelim em estresse hídrico em substrato de bio-sólido e adubo químico**. Campina Grande: UFCG, 2008. 60p. Dissertação Mestrado.

BOYER, J.S. **Water deficits and photosynthesis**.In: KOZLOWSKI, T.T. Water deficit and plant growth. London: Academic Press. v.4, 1976.p.153-190.

BULBOVAS, P.; RINALDI, M. C. S.; DELITTI,W. B. C.; DOMINGOS, M. Variação sazonal em antioxidantes em folhas de plantas jovens de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil). **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.4, p.687-696, 2005.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

BRASIL. EMBRAPA ALGODÃO. **Gergelim BRS Seda**. Campina Grande, 2007. 1 Folder.

BRANDELERO, E. M.; PEIXOTO, C. P.; SANTOS, J. M .B. S.; MORAES, J. C. C. M.; SILVA, V. **Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no recôncavo bahiano**. *Magistra*, Cruz das Almas, v. 14, n. 2, p. 77-88, 2002.

BRAY, E.A., BAILEY-SERRES, J. & WERETILNYK, E. 2000. Responses to abiotic stresses. In *Biochemistry & Molecular Biology of Plants* (B.B. Buchanan, W. Gruissen, & R.L. Jones, eds.). **American Society of Plant Physiologists**, New York, p.1158-1203.

BRITTON, G.; YOUNG, A.J. **Methods for the isolation and analysis of carotenoids**. In: carotenoids in photosynthesis. A Young and G. Britton (Eds.) 1.ed. Chapman & Hall, London, 1993. p. 409-457.

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B. C.; MELO, H.C.; GUEDES, L.C.A.; FARIAS, J.R. **A cultura do girassol**. EMBRAPA/CNPS.Londrina, 1997.36 p. (Circular Técnica, 13).

CAVALCANTI, L. S.; BRUNELLI, K. R.; STANGARLIN, J. R. Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência induzida. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLAT, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. (Eds.). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p.81-124.

CHANCE, B., MAEHLEY, A.C. **Assay of Catalase and peroxidases**. *Methods in Enzymology*, v. 2, p. 764-775, 1955.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.4, n.2, 2004.

COSTA, M. M. M. N. **Comportamento de cultivares de caupi submetidas à deficiência hídrica em duas fases do ciclo fenológico**. 1995, 66 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

DICKO, M.H.; HILHORST, R.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A.S.; LAANE, C.; BERKEL, W.J.H.V.; VORAGEN, A.G.J. Comparison of content in phenolic compounds, polyphenol oxidase, and peroxidase in grains of fifty sorghum varieties from Burkina Faso. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.3780-3788, 2002.

EMBRAPA ALGODÃO (Campina Grande, PB). BRS 196 (CNPA G4): **nova cultivar de gergelim e sistema de cultivo**. Campina Grande, 2000 (Folder).

FARIAS, R. A.; SOARES, A. A.; SEDYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. A. S. Demanda de irrigação suplementar para acultura do milho no estado de minas gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 4, n.1, p. 46-50, 2000.

FERGUSON, C. E. **Teoria micro-econômica**. Rio de Janeiro, Forense Universitária, 11 ed., p. 123-133, 1987.

FIRMINO, P. de T. **Caracterização química de semente de gergelim (*Sesamum indicum* L.) BRS 196 (CNPA G-4)**. Campina Grande: Embrapa Algodão, Instrução Técnica n. 117, p.1-2, 2001.

FIRMINO, P. de T.; SANTOS, R.F; BARROS, M. A. L.; OLIVEIRA, J. M. C. **Gergelim: opção para agricultura familiar do semi-árido brasileiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003. (Comunicado Técnico 198).

FIRMINO, P. De T. **Gergelim: Sistema de produção e seu processo de verticalização**, visando produtividade no campo e melhoria da qualidade da alimentação humana (Prêmio Jovem Cientista), Embrapa - CNPA, 1996.

FREIRE, M. L. F.; FIDELES FILHO, J.; BELTRÃO, N. E. M.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A.; SOUZA, W. S. Alterações espectrais da folha do amendoimzeiro causada por doses de cálcio e fósforo em condições de casa de vegetação. In: **XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Fortaleza. CD-ROM, 12p. 2004.

FRIZZONE, J. A. Funções de resposta do feijoeiro ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação. In: Simpósio sobre o manejo da água na agricultura, Campinas. **Anais**, Campinas: Unicamp, p. 123-133, 1987.

FONTES, G., BRAUN, B.F., NETO, H.F., VIEIRA, J.B.F., PADILHA, S.S., ROCHA, R.C., ROCHA, E.M.M. Filariose linfática em Belém, Estado do Pará, Norte do Brasil e a perspectiva de eliminação. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v.38, n.2, p.131-136, 2005

Grilo Júnior, J. A. S.; Azevedo, P. V. de. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim 'BRS Seda' na agrovila de Canudos, em Ceará Mirim (RN). **Revista Holos**, v.2, p.19-33, 2013.

GODOY, I. J.; SAVY FILHO, A.; TANGO, J. S.; UNGARO, M. R. G.; MARIOTTO, P. R. **Programa Integrado de Pesquisas: oleaginosas**. São Paulo: SAA/CPA, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 1985. 33 p.

HAVIR, E.A.; Mc HALI, N.A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of Catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, p. 450-455, 1987.

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.

HSAIO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**. 24:519-70, 1973.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyenoxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315-319, 1976.

KARUPPANAPANDIAN, T.; WANG, H.; PRABAKARAN, N.; JEYALAKSHMI, K.; KWON, M.; MANOHARON, K.; KIM, W. 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-induced leaf senescence in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) and senescence inhibition by co-treatment with silver nanoparticles. **P. Physiology and Biochemistry**, v.49, p.168–177, 2011.

KOPPEN, W. **Die klimateder erde-grundriss der klimakunde**. Berlin, Walter de Gruyter-Verlag, 1923.

KUK, Y.I., SHIN, J.S., BURGOS, N.R., HWANG, T.E., HAN, O., CHO, B.H., JUNG, S.Y. & GUH, J.O. Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants. **Crop Science**, v.43, 2109-2117, 2003.

LAGO, A. A. do; SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V. CAMARGO, O. B. Maturação e produção de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 134-137, 1994.

LEITE, M.L.; VIRGENS FILHO, J.S. **Produção de matéria seca em plantas de caupi**. *Vigna unguiculata* (Walp) submetidas a déficits hídricos. Publicatio UEPG, v.10, p.43-51, 2004.

LESSA, PATRÍCIA. **Lesbianas em movimento: a criação de subjetividades** (Brasil, 1979-2006). 2007. 261 f. Tese (Mestrado em História)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

LEVITT, T. **A Production-Line Approach to Service**. Harvard Business Review, v. 50, nº 5, p. 41-52, September-October, 1972.

LIMA, F.V.; PEREIRA, J.R.; ARAÚJO, W.P.; ALMEIDA, S.A.B.; LEITE, A.G; Definição de espaçamentos para o gergelim irrigado. **Revista Educação Agrícola Superior**, ABEAS, v.26, n.1, p.10-16, 2011.

LIMA, F. A.; SOUSA, G. G. de; VIANA, T. V. de A.; PINHEIRO NETO, L. G.; AZEVEDO, B. M. de; CARVALHO, C. M. de. Irrigação da cultura do gergelim em solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, p.102-111, 2013.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações**. São Paulo, Editora Nobel, 2002.

MARENCO, R. A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral . 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 486 p.

MENESES, C. H. S. G., LIMA L. H. G. M., LIMA M. M. A., VIDAL M. S. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande. v. 10, n. 1/2, p. 1039-1072, ago. 2006.

MESQUITA, J.B.R. **Manejo da cultura do gergelim submetida a diferentes lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio pelo método convencional e por fertirrigação**. 2010. 82f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

Mesquita, J.B.R; Azevedo, B.M; Campelo,A. R;Fernandes,C.N.V;Viana, T.V.A. **Crescimento e produtividade da cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) sob diferentes níveis de irrigação**. Irriga, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 364-375, abril-junho, 2013

MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. de M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. 410 p. (Série Engenharia Agrícola, 1).

MITTAL, R.; DUBEY, R.S. Behavior of peroxidases in rice: changes in enzyme activity and isoforms in relation to salt tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.29, p.31-40, 1991.

Netto, A. O. A.; Rodrigues, J. D.; Pinho, S. Z. **Análise de crescimento na cultura da batata submetida a diferentes laminas de irrigação**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.901-907, 2000

NOBRE, J. G. A. **Respostas da mamona à irrigação e à aplicação de potássio em argissolo vermelho-amarelo**. 2007. 75f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

OXFORD Instruments. Oxford MQA 7000 Séries: **manual de operações**. São Paulo, 2007. 46p

PASCHOLATI, S. F. e WULFF, N. A. Doenças do gergelim (Cindissem), In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**, 4ª ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 379 – 384.

PEREIRA, R. A; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PERIN, A.; CRUVINEL, J.D.; SILVA, W.J. Desempenho do gergelim em função da adubação NPK e do nível de fertilidade do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n.1, p.93-98, 2010.

PIMENTEL, C; PEREZ, A. J. de L. C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.31-39, 2000. 75

RAM, R.; CATLIN, D.; ROMERO, J.; COWLEY, C. Sesame: new approaches for crop improvement. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Ed.). **Advances in new crops**. Portland: Timber Press, p.225-228, 1990.

ROCHA, F. da.G.D. **Relações hídricas, crescimento de plantas e estratificação do sistema radicular em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica na fase vegetativa**, 60 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 76,2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 2001. 64p.

Rong-hua L I, Pei-guo G U O, Baum M, Grando S, Ceccarelli S. Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. **Agricultural Sciences in China** 2006;5:751-757.

SANTOS, J. M. B.; PEIXOTO, C. P.; SANTOS J. M. B.; BRANDELERO E. M. , PEIXOTO, M. F. S. P. SILVA V. **Desempenho vegetativo e produtivo de cultivares de soja em duas épocas de semeadura no Recôncavo Baiano**. 2.ed. Bahia : Magistra, 2003. vol.15, p111-121.

SANTOS, M. M.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R.; MIRANDA, G. V.; FINGER, F. L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15n) na planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 34, p. 1185-1194, 2010.

SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V.; VEIGA, R. F. de A. **Descrição morfológica do gergelim (*Sesamum indicum* L.) “IAC-Ouro”**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1988. 12 p. (IAC. Boletim Científico, 13).

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

SHAHIDI, F.; LIYANA-PATHIRANA, CM.; WALL, D.S. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. **Food Chemistry**, v.99, p.478-483, 2006.

SIEGEL, S.M.; CHEN, J.; KOTTENMEIER, W.; CLARK, K.; SIEGEL, B.Z.; CHAMG, H. Reduction in peroxidase in Cucumis, Brassica and other seedlings cultured in saline waters. **Phytochemistry**, v.21, p.539-42, 1982.

SILVA, L. C.; SANTOS, J.W.; VIEIRA, D.J.; BELTRÃO, N.E.M.; ALVES, I.J.F. Um método simples para se estimar a área foliar de plantas de gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**. v. 6, n.1,p.491-496, 2002.

SILVA, W.A. **Potencial alelopático de extratos do cumaru**(*Amburana cearensis* A.C. Smith) e da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) na germinação e crescimento do sorgo(*Sorghum bicolor* L.), milho (*Zeamays* L.) e feijão guandu (*Cajanuscajan*L.). Dissertação (Mestrado em Sistemas Agrosilvipastoril) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, pp.62, 2007.

SILVA, M. T.; FARIAS, G. C.; ARAÚJO, L. F.; FUNK JUNIOR, S. C. F.; AMARAL, J. A. B. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do gergelim no Estado do Ceará. Embrapa Agroindústria Tropical. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, **31**, Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008, 23p.

Silva, A. R. A.; Bezerra, F. M. L.; Sousa, C. C. M.; Pereira Filho, J. V.; Freitas, C. A. S. Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.57-64, 2011.

SIMÃO, A. A. Antioxidantes, clorofila e perfil de ácidos graxos em folhas de mandioca. 2010. 71 p. Dissertação (**Mestrado**)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SOFIATTI V.; BRITO G. G.; SILVA F. M. O.; BRANDÃO Z. N.; SILVA D. M. A.; SILVAV. N. B. Determinação da concentração de pigmentos da fotossíntese em folha de algodão, 7., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...: Sustentabilidade da cotonicultura brasileira e expansão dos mercados**: Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 852-858.

SOUZA, J.G. de; BELTRÃO, N.E. de M.; SANTOS, J.W. dos. Influência da saturação hídrica do solo na fisiologia do algodão em casa de vegetação. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.1, n.1, p.63-71, 1997.

SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E. M.; SANTOS, J. W. dos S. Fisiologia e produtividade do gergelim em solo com deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 163-169, 2000.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H.; As clorofilas. **Ciência Rural**. Santa Maria. v.35, n.3, p. 748-755, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Artmed, 848p, 2010.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Tradução: SANTARÉM, E.R... [et al.]. – 4. ed. – Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TÁVORA, F. J. A. F.; MELO O. I. F. Resposta de cultivares de amendoim a ciclos de deficiência hídrica: crescimento vegetativo, reprodutivo e relações hídricas. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, 22 (1/2): 47-60, jun/dez,1991.

TECPAR - **Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas**. Informações técnicas sobre o cultivo de girassol. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt673.pdf>>. Acesso em: 21 de jul. 2007.

TIAN, S.; NAKAMURA, K.; KAYAHARA, H. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.4808-4813, 2004.

TOLEDO, F. F. & MARCOS FILHO, J. - **Manual de sementes: tecnologia da produção**. São Paulo, Agrônômica Ceres, 1977. 224 p.

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

WALTER, M. **Composição química e propriedades antioxidantes de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto**. 2009. 119p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

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.

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