

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA**

CIRO DE MIRANDA PINTO

**RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DO AMENDOIM, GERGELIM
E MAMONA A CICLOS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**FORTALEZA
2006**

CIRO DE MIRANDA PINTO

**RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DO AMENDOIM, GERGELIM
E MAMONA A CICLOS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Dissertação submetida à coordenação do curso Pós-Graduação em Fitotecnia/Agronomia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará.

**Orientador: Prof. Francisco José Alves
Fernandes Távora, PhD.**

**FORTALEZA
2006**

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Hamilton Rodrigues Tabosa CRB-3/888

P727r Pinto, Ciro de Miranda

Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica [manuscrito] / Ciro de Miranda Pinto.
80 f., enc.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
Orientador: Francisco José Alves Fernandes Távora, PhD
Área de concentração: Fitotecnia

1. Oleaginosas 2. Trocas gasosas 3. Estado hídrico 4. Plantas – Crescimento 5. Estresse hídrica I. Távora, Francisco José Alves Fernandes II. Universidade Federal do Ceará – Mestrado em Fisiologia da Produção Vegetal III. Título

CDD 581.1

CIRO DE MIRANDA PINTO

**RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DO AMENDOIM, GERGELIM
E A MAMONA A CICLOS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Dissertação submetida à coordenação do curso Pós-Graduação em Fitotecnia/Agronomia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará.

APROVADA em ____/____/____

Orientador da Dissertação
Prof. FRANCISCO JOSÉ ALVES FERNANDES TÁVORA, PhD
Universidade Federal do Ceará

Conselheiro
MARLOS ALVES BEZERRA, Dr.
CNPAT/EMBRAPA

Conselheiro
Prof. MÁRCIO CLEBER DE MEDEIROS CORRÊA, Dr.
Universidade Federal do Ceará

A minha esposa Olienaide Pinto pelo amor, companheirismo, compreensão, carinho.

DEDICO

Aos meus pais Francisco Bezerra e Maria Clara, irmãos Ediluisse e Marcelino.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu força e tranquilidade para superar os momentos mais difíceis no período de execução deste trabalho.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa durante o curso de Mestrado.

Ao professor Francisco José Alves Fernandes Távora pela orientação, compreensão e confiança durante a execução deste trabalho.

Ao Pesquisador do CNPAT/Embrapa, Marlos Alves Bezerra e ao Professor Claudivan Feitosa de Lacerda do Departamento de Engenharia Agrícola, pela amizade e colaboração de ambos durante a execução da pesquisa.

Ao professor Márcio Cleber de Medeiros Corrêa, pela amizade e conselhos no decorrer ao longo da minha jornada como mestrando.

Aos demais professores do Departamento de Fitotecnia no Curso de Pós-graduação, que contribuíram na minha formação para obtenção do título de Mestre.

Ao meu amigo Franze Carvalho, que realizou a pré-germinação das sementes de mamona no Laboratório de Sementes da Universidade Federal do Ceará.

Aos meus amigos Cláudio Henrique de Almeida Oliveira e Marilena de Melo Braga, que contribuíram na instalação e tomadas de leituras durante o percurso experimental.

Aos meus amigos Jefte Ferreira da Silva e João Gutemberg Leite Moraes pela colaboração com as análises estatísticas.

Aos meus amigos, Junior Regis Batista Cysne, Francisca Ligia, Amanda Soraya Freitas, Fábio Farias Costa, Francisco Elivan Arruda Rodrigues, Francisco Sadi Santos Pontes, Francisco Herbeth Costa dos Santos, Janser Nobre de Oliveira, Rosilene Mesquita Oliveira, Fred Denílson Barbosa da Silva, pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, Deocleciano Ivo Xavier, Francisco Viera Costa Neto, Pedro Djacir P. do Nascimento.

“No fim tudo dá certo, se não deu certo é porque ainda não chegou ao fim.”

Fernando Sabino

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| AGRADECIMENTOS | 2 |
| SUMÁRIO | 4 |
| RESUMO | 6 |
| LISTA DE TABELAS | 8 |
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 11 |
| 2.1. Respostas morfológicas e fisiológicas à deficiência hídrica | 11 |
| 2.2. Emprego de variáveis indicadoras de tolerância à deficiência hídrica | 13 |
| 2.3. Respostas do sistema radicular à deficiência hídrica..... | 16 |
| 2.4. Respostas do crescimento da parte aérea à deficiência hídrica | 17 |
| 3.0. MATERIAL E MÉTODOS | 18 |
| 4.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 22 |
| 4.1. Condições hídricas das plantas..... | 22 |
| 4.1.1. Conteúdo relativo de água e Potencial hídrico foliar | 22 |
| 4.2. Trocas gasosas | 25 |
| 4.2.1. Transpiração foliar..... | 25 |
| 4.2.2. Condutância estomática..... | 28 |
| 4.2.3. Taxa fotossintética..... | 30 |
| 4.2.3. Taxa fotossintética..... | 31 |
| 4.2.4. Concentração interna de CO ₂ | 33 |
| 4.2.4. Concentração interna de CO ₂ | 34 |
| 4.2.5. Uso eficiente de água..... | 37 |
| 4.3. Temperatura da folha..... | 40 |
| 4.4. Correlação entre as variáveis fisiológicas | 43 |
| 4.5. Crescimento..... | 45 |
| 4.5.1. Número de folhas, Área foliar, Área foliar específica e Razão de área foliar..... | 45 |

| | |
|--|-----------|
| 4.5.2. Matéria seca da parte aérea, diâmetro do coleto e altura da planta | 49 |
| 4.5.3. Matéria seca, volume e peso específico de raiz..... | 52 |
| 4.5.4. Relação matéria seca da raiz e parte aérea, relação matéria seca raiz e total, matéria seca total | 55 |
| 4.6. Estratificação do sistema radicular | 59 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 62 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 64 |

RESUMO

A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará, no período de janeiro a março de 2006, com o objetivo de estudar a resposta das culturas da mamona (*Ricinus communis* L.), gergelim (*Sesamum indicum* L.) e amendoim (*Arachis hypogaea* L.) a ciclos de deficiência hídrica na fase de crescimento vegetativo. Foi avaliado o comportamento de duas cultivares de cada espécie, a saber: amendoim, cultivares PI 165317 (grupo “Spanish”) e 57422 (grupo Virgínia); gergelim, cultivares CNPA-G₃ e CNPA-G₄ e mamona, cultivares Mirante e BRS 149 Nordestina. As sementes foram semeadas em tubos de PVC com 100 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro, em solo de textura arenosa. As cultivares foram submetidas a dois regimes hídricos - irrigação diária e ciclos de deficiência hídrica. Foram determinadas variáveis relativas às condições hídricas da planta, trocas gasosas, crescimento da parte aérea e crescimento e estratificação do sistema radicular. A colheita das plantas ocorreu aos 50, 55, 56 dias após o plantio para as culturas do gergelim, amendoim e mamona, respectivamente. As variáveis potencial hídrico, conteúdo relativo de água, transpiração foliar, fotossíntese foliar e condutância estomática foram reduzidas nas três culturas em resposta aos ciclos de deficiência hídrica. A relação entre a temperatura foliar e a ambiente aumentou em resposta ao estresse aplicado. O uso eficiente de água não foi alterado nas culturas da mamona e amendoim, apresentando redução significativa no gergelim em resposta ao déficit hídrico. A matéria seca da parte aérea, das raízes e total, bem assim o volume radicular foram reduzidos em todas as espécies em resposta ao déficit hídrico. A relação raiz/parte aérea aumentou em resposta ao estresse hídrico nas culturas do amendoim e gergelim, enquanto na mamona essa relação permaneceu inalterada. O amendoim apresentou a menor partição de matéria seca para as raízes; o gergelim ficou numa posição intermediária e a mamona destinou a maior proporção de biomassa para as raízes. O amendoim apresentou a maior modificação da estratificação do sistema radicular em resposta ao déficit hídrico, com um maior aprofundamento das raízes. A mamona apresentou a menor resposta e o gergelim ficou numa posição intermediária. Independentemente do regime hídrico as três culturas apresentaram maior proporção do sistema radicular nos primeiros 25 cm de solo. O número de folhas e a área foliar foram reduzidos nas três espécies em resposta ao déficit hídrico.

Palavras - chave: Oleaginosas, trocas gasosas, estado hídrico, crescimento, estresse hídrico

ABSTRACT

A greenhouse research was carried out at the Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, from January to March 2006, with the objectives of studying the response of castorbean (*Ricinus communis* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) to cycles of water deficit in the early vegetative growth phase. The following cultivars for each crop were evaluated: peanut cultivars PI 165317 (group Spanish) and 57422 (group Virginia); sesame CNPA G3 and CNPA G4; and castorbean Mirante and BRS 149 Nordestina. The seeds were planted in PVC tubes 100 cm long and 10 cm wide, filled with sand soil. The cultivars received two water regime treatments: daily irrigation and cycles of water stress. Several variables were determined relative to plant water status, gas exchange, top and root growth and root system distribution in the soil profile. Plant harvest was accomplished at 50, 55 and 56 days after planting for sesame, peanut and castorbean, respectively. The variables water potential, relative water content, leaf transpiration, leaf photosynthesis and stomatal conductance were reduced in all three crops in response to water stress. The relation between leaf and ambient temperature increased in response to water stress. The water use efficiency was not affected by the stress imposed in castorbean and peanut. On the other hand, in sesame this variable decreased in response to water stress. Tops, roots and total dry matter as well as the root system volume were reduced in all species in response to water stress. Root shoot ratio increased in response to water stress for sesame and peanut, while for castorbean this relation remained unchanged. Among the crops studied, peanut plants had the smallest dry matter partition to the roots; sesame stayed in an intermediary position and castorbean partitioned the higher proportion of dry matter to roots. Peanut showed a large modification in the root system stratification in response to the water stress, with the increase of proportion of the root system in the deep soil. Castorbean showed the smaller response as far as deepening of the root system and sesame retained an intermediary position. All three crops, no matter the water regime was, had the most proportion of the root system in the first 25 cm layer of soil. The leaf number and leaf area were reduced in the three species in response to water stress.

Key words: Oil seed crops, gas exchanges, water status, growth, water stress

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Quadrado médio e coeficiente de variação do conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico foliar (Ψ_{folha}) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 24 |
| Tabela 2. Conteúdo relativo d'água (CRA) e potencial hídrico foliar (Ψ_{folha}) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 24 |
| Tabela 3. Quadrado médio e Coeficiente de variação da transpiração foliar ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 26 |
| Tabela 4. Transpiração foliar em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 27 |
| Tabela 5. Quadrado médio e coeficiente de variação da condutância estomática ($\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 29 |
| Tabela 6. Condutância estomática em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 30 |
| Tabela 7. Quadrado médio e coeficiente de variação da taxa fotossintética ($\mu\text{molm}^{-2}.\text{s}^{-1}$), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 32 |
| Tabela 8. Taxa fotossintética ($\mu\text{molm}^{-2}.\text{s}^{-1}$) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica. | 33 |
| Tabela 9. Quadrado médio e coeficiente de variação da concentração interna de CO_2 , (μmolmol) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica. . | 35 |
| Tabela 10. Concentração interna de CO_2 (μmolmol) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica. | 36 |
| Tabela 11. Quadrado médio e coeficiente de variação do uso eficiente de água, UEA, ($\mu\text{molm}^{-2}.\text{s}^{-1} / \text{mmolm}^{-2}.\text{s}^{-1}$), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica. | 38 |
| Tabela 12. Uso eficiente de água (UEA) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica. | 39 |

| | |
|---|----|
| Tabela 13. Quadrado médio e relação entre temperatura da folha e ambiente, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 41 |
| Tabela 14. Relação entre temperatura da folha e ambiente, ao longo de um período, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 42 |
| Tabela 15. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis de relações hídricas das culturas de amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 44 |
| Tabela 16. Quadrado médio, número de folhas, área foliar, área foliar específica e razão de área foliar, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica... | 47 |
| Tabela 17. Número de folhas, área foliar, área foliar específica e razão de área foliar, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica (2 plantas/ tubo PVC)..... | 48 |
| Tabela 18. Quadro médio, da matéria seca da parte área, diâmetro do coleto e altura de planta, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 50 |
| Tabela 19. Matéria seca da parte área, diâmetro do coleto e altura de planta, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica (2 plantas/ tubo PVC)..... | 51 |
| Tabela 20. Quadro médio, matéria seca da raiz (MSR), volume (VR) e peso específico da raiz, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 53 |
| Tabela 21. Matéria seca da raiz (MSR), volume (VR) e peso específico da raiz (ρ_R), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica (2 plantas/ tubo PVC)..... | 54 |
| Tabela 22. Quadro médio, relação matéria seca da raiz e parte aérea, relação matéria seca raiz e total matéria seca total, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica..... | 57 |
| Tabela 23. Relação matéria seca da parte aérea e raiz, relação matéria seca raiz e total, matéria seca total, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica (2 plantas/ tubo PVC)..... | 58 |
| Tabela 24. Distribuição média da matéria seca de raiz, por estratos de solo (25cm) das cultivares de amendoim, gergelim e mamona, submetidas a ciclos de deficiência hídrica (2 plantas/ tubo PVC)..... | 61 |

1. INTRODUÇÃO

As plantas cultivadas estão constantemente expostas a estresses abióticos ou bióticos, e às interações, que causam modificações no crescimento, metabolismo e rendimento agrícola. Lawlor (2002) destaca que os principais fatores abióticos limitantes da produtividade das culturas são: seca, salinidade, baixas e altas temperaturas, enchentes, poluentes e excesso de radiação. A seca é o principal entrave da produtividade agrícola mundial (KRAMER; BOYER, 1995; REDDY et al., 2004).

A tolerância à seca apresenta alta variabilidade entre espécies (KRAMER; BOYER, 1995). Vale salientar que as espécies oleaginosas apresentam alto potencial de expansão no Nordeste do Brasil, pois são tolerantes às condições de seca, destacando-se o amendoim, (TÁVORA et al., 1985), o gergelim, (BELTRÃO, 2001) e a mamona, (BELTRÃO; ARAÚJO, 2004; PRISCO, 1986). O Nordeste do brasileiro caracteriza-se por apresentar precipitações pluviiais irregulares no tempo e no espaço, incrementando assim a probabilidade da ocorrência de eventos como os veranicos, durante a fase crítica de necessidade d'água dos vegetais.

O cultivo de oleaginosas no Nordeste brasileiro é praticado principalmente em cultivo extensivo no regime de sequeiro. A ampliação do mercado tendo em vista à produção de biodiesel traz novas e favoráveis perspectivas de ampliação dessas culturas na região. Várias oleaginosas apresentam potencial para suprir essa demanda, destacando-se a soja para o Sudeste e Centro-Oeste, o dendê para o Norte e a mamona, o amendoim e gergelim para o Nordeste do Brasil.

A cultura do amendoim é bastante referenciada com estudos sobre mecanismos morfológicos e fisiológicos de resposta à deficiência hídrica. Por outro lado, há poucos relatos na literatura sobre o comportamento do gergelim e da mamona em tais condições.

Objetivou-se através deste trabalho analisar o efeito da deficiência hídrica durante a fase vegetativa, em duas cultivares de amendoim, gergelim e mamona, no que concerne aos seguintes pontos: (a) as condições hídricas e as trocas gasosas, (b) o acúmulo de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular, (c) estratificação do sistema radicular. E desta forma, aprofundar os conhecimentos dos mecanismos morfológicos e fisiológicos de tolerância à deficiência hídrica nessas oleaginosas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Respostas morfológicas e fisiológicas à deficiência hídrica

O termo estresse é usado constantemente por biólogos, ecólogos e agrônomos para descrever as respostas dos organismos submetidos aos fatores ambientais potencialmente desfavoráveis à vida (PLAUT, 1995). A deficiência hídrica é uma situação freqüente à produção de muitas culturas, podendo gerar impacto negativo e expressivo ao crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas (LECOEUR; SINCLAIR, 1996; FISCHER; TURNER, 1978; HSIAO, 1973). Tais efeitos variam em função da intensidade, velocidade de imposição e estágio de desenvolvimento da planta (KRAMER; BOYER, 1995).

As repostas das plantas à seca podem ser estudadas em variados ambientes, por exemplo, em placas de Petri, no laboratório; em solução nutritiva ou em vasos com terra, em câmara de crescimento ou em estufas; no campo, em centros de pesquisa; ou ainda em campo nas regiões-alvo para exploração agrícola (PIMENTEL, 2004).

Para Turner (1997) a capacidade dos vegetais produzirem quando cultivados em áreas sujeitas ao déficit hídrico é referida como resistência à seca. As espécies, em geral são classificadas em: a) escapam da seca, b) toleram a seca com alto potencial hídrico e c) toleram a seca com baixo potencial hídrico (TURNER 1986, 1997).

A água, além de ser o componente majoritário da célula, é essencial ao crescimento e manutenção da turgescência. Segundo Petry (1991), a água é importante na manutenção da turgescência celular e por permitir a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese.

A perda de água do tecido da planta produz efeitos diretos: a) redução do potencial químico ou atividade da água; b) concentração de macromoléculas e de solutos de baixos pesos moleculares; c) alterações nas relações espaciais em membranas e nas organelas através da redução do volume; d) redução na pressão hidrostática dentro das células, além de outros (DENADAI; KLAR, 1995).

O potencial de água da folha, bem como o conteúdo relativo de água são reduzidos com o declínio da disponibilidade de água do solo (LAWLOR; CORNIC, 2002; KRAMER; BOYER 1995), levando à perda da turgescência e ao fechamento estomático (MANSUR; BARBOSA, 2000).

O déficit hídrico tem efeitos em diversos processos fisiológicos das plantas, geralmente aumentando a resistência estomática, reduzindo a transpiração e

consequentemente o suprimento de CO₂ para a realização do processo de fotossíntese (NOGUEIRA et al., 1998; CHAVES, 1991). Outros processos também são afetados como a produção de ácido abscísico, abscisão foliar e ajustamento osmótico (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O fechamento estomático é um importante mecanismo de defesa que as plantas apresentam contra perdas exageradas de água e eventual morte por dessecação (GLENN et al., 2000). Conforme Blum (1997), a disponibilidade hídrica é um dos fatores que mais afetam o crescimento de folhas e raízes, a condutância estomática, a fotossíntese e acumulação de matéria seca. Os vegetais submetidos à seca exibem mecanismos de adaptação que previnem a perda de água para o ambiente e mantém sua hidratação, a exemplo, a redução da área foliar, já que com uma área menor a planta transpira menos, permitindo o uso do suprimento de água limitado no solo por um período mais longo (KOZLOWKI, 1976; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Boyer (1970) analisando os efeitos da deficiência hídrica nas culturas do milho, soja e girassol, constatou que as reduções no potencial hídrico, e no crescimento foliar, antecederam ao ocorrido na fotossíntese ou a respiração.

Bhagasari et al. (1976), relataram que o decréscimo na fotossíntese líquida em amendoim acompanhou a redução no conteúdo relativo de água (CRA). A fotossíntese e a condutância estomática tiveram grandes decréscimos quando o CRA caiu de 85 para 75%. Já Chaves (1991) propôs o fechamento estomático como primeira linha de defesa ao dessecação, o mesmo ocorrendo antes da redução do conteúdo relativo d'água (YORDANOV et al., 2000).

Para Prisco (1986), como a produtividade vegetal depende principalmente do processo fotossintético, qualquer mecanismo de resistência à seca que afete esse processo, reduz a produtividade dos vegetais. Enquanto, Hsaio (1973) relata que dentre as respostas dos vegetais à deficiência hídrica a expansão da parte aérea é a mais sensível. Por outro lado, Teare e Peet (1983), constataram que a diminuição da área foliar afetou a fotossíntese e a produtividade das plantas.

Sabe-se que a transpiração das plantas é diminuída quando o solo perde água. Em resposta a tal fator estressor as plantas reduzem o fluxo de vapor d'água do interior da câmara sub-estomática para a atmosfera, causando depressão na transpiração (GUCCI et al., 1996; THOMAS et al., 2000). Essa água perdida pela transpiração é o mecanismo primário de regulação da temperatura da planta, dissipando assim grande parte do calor absorvido da radiação solar (SLATYER, 1967).

O déficit hídrico desenvolve-se nas plantas quando a taxa de transpiração das folhas excede a absorção de água nas raízes e ocorre normalmente nas horas mais quentes do dia.

Esta situação desencadeia-se a partir do momento em que o potencial hídrico do solo (Ψ_{solo}) na rizosfera declina a níveis subótimos e/ou o déficit de pressão de saturação de vapor d'água entre a folha e a camada de ar limítrofe torna-se alto (BERKOWITZ, 1998). XUE et al. (2004), consideram o estatus hídrico do solo e o déficit de pressão de vapor atmosférico como principais moduladores das trocas gasosas dos vegetais. Para Larcher (2000), os estômatos atuam como moduladores da perda de água pela transpiração, respondendo ao déficit hídrico com a alteração da abertura do poro a uma faixa crítica de valores do potencial hídrico foliar.

Dubé et al. (1974) afirmam que quando o potencial hídrico do solo é baixo, a abertura dos estômatos não é mais dependente da radiação solar, e sim, do potencial da folha, o qual é dependente da umidade do solo.

O incremento da concentração interna de CO_2 , sob baixos valores de potencial de água na folha pode estar relacionado à queda na atividade das enzimas envolvidas no processo de fixação de CO_2 , como sugerem Machado et al. (1999). Calbo et al. 1997, relataram a manutenção de elevadas concentrações internas de CO_2 durante o desenvolvimento da deficiência hídrica, sugerindo que a redução observada na taxa de fotossíntese ocorreu independentemente do aumento da resistência estomática. Lopes et al. (1998), constataram que o déficit hídrico reduz o índice de troca de CO_2 e a sua condução para as folhas, diminuindo a concentração desse elemento nos espaços intercelulares. Outros fatores associados com a queda na taxa fotossintética são as altas temperaturas e altos déficits de pressão de vapor na atmosfera, tornando-se mais crítico, quando ocorre deficiência hídrica do solo (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Para Chaves (1991), a acumulação de carboidratos é freqüentemente observada sob condições de seca e pode limitar a taxa fotossintética através da diminuição do suprimento de fosfato inorgânico no ciclo de Calvin.

2.2. Emprego de variáveis indicadoras de tolerância à deficiência hídrica

Diversos pesquisadores têm concentrado suas investigações na identificação de variáveis indicadoras de tolerância à deficiência hídrica, com propósitos de usar estes resultados como ferramenta na seleção de genótipos de uma mesma espécie. Entretanto sabe-se que isto é praticamente inviável devido a multiplicidade de caracteres fisiológicos, em diferentes órgãos das plantas, que lhe conferem tolerância a falta d'água (PIMENTEL, 2004), sendo considerada uma característica multigênica (BLUM, 1997). Tais variáveis podem ser

estudadas em campo ou casa-de-vegetação ao longo do ciclo fenológico, levando em consideração caracteres morfológicos, fisiológicos e bioquímicos.

Os dados alométricos das plantas têm sido usados para classificar espécies, biótipos e cultivares em tolerantes ou sensíveis à seca. Matsui e Singh (2003) recomendam o uso da densidade de comprimento, profundidade e o peso seco das raízes, na seleção de genótipos de feijão-de-corda para tolerância à seca. Enquanto Camacho e Caraballo (1994), pesquisando cultivares de milho expostas a insuficiência de água no solo, determinaram que o peso seco da raiz, pode ser usado como parâmetro indicador de planta tolerantes à seca.

As plantas ao absorverem CO₂, inevitavelmente, perdem água pelas folhas. Essa perda de água ocorre principalmente através dos estômatos, que apresentam mecanismos para controlar sua abertura, os quais podem ser usados como indicadores da deficiência hídrica (Mc DERMIT, 1990).

A manutenção da temperatura igual ou ligeiramente inferior a do ambiente comprova a capacidade de refrigeração das plantas, via transpiração, no intuito de manter a planta protegida das faixas térmicas muito elevadas (NOGUEIRA et al., 1998; OLIVEIRA et al., 2005). Esse comportamento é desejável e foi observado em varias espécies vegetais (LUDLOW; MUCHOW, 1990). Conforme Angelocci (2002) a temperatura da folha tende a acompanhar a do ambiente. O aumento da temperatura do ar e da folha tende a aumentar a diferença de concentração de vapor folha-ar, de modo que mantidos constantes os outros fatores que afetam a perda de água, como as condutâncias difusivas na via de fluxo, o aumento da temperatura do ar tende a provocar um acréscimo da transpiração, até o ponto em que a regulação estomática passa a atuar no sentido de não permitir uma perda excessiva de água.

Valor superior a unidade para a relação entre temperatura foliar e ambiente indica estresse térmico, e pode ser usado também como indicador do estado hídrico das plantas ((BERENGENA 1987; JUNG; SCOTT, 1980).

Segundo Távora e Melo (1991), os valores da diferença de temperatura entre a atmosfera e a superfície foliar acompanham de perto aqueles obtidos com a resistência estomática e a transpiração, constituindo, assim, um excelente parâmetro para aferição indireta das condições hídricas da planta. Nogueira et al. (1998), propuseram o uso da temperatura foliar, da resistência estomática e a acumulação de prolina na caracterização das condições hídricas da cultura.

Para Fernandes e Turco (1998), o índice de estresse hídrico determina o estresse hídrico de uma cultura podendo variar de 0 (sem estresse hídrico) a 1 (cultura completamente

estressada). É determinado como sendo 1 menos a relação E_{Tr}/E_{Tp} . Os mesmos autores reportam que esse índice é um bom indicador do estresse hídrico da cultura de soja.

A seleção de espécies C_3 tolerantes à seca foi estudada por Osmond et al. (1980) e Pimentel et al. (1999), sendo proposto o uso eficiente de água intrínseco (IWUE), o qual considera a relação entre a assimilação de CO_2 (A_n) e a condutância estomática (g_s).

Para Angelocci (2002) a relação entre a área foliar e as dimensões do sistema radicular como fator a afetar a transpiração é considerada mais importante do que a própria área foliar isoladamente, visto que há defasagem entre a transpiração e a absorção de água durante o dia. Se a relação área de raízes-área foliar é baixa, pode ocorrer um déficit hídrico mais acentuado.

Como o vegetal não possui capacidade de locomoção para proteção aos fatores estressores como alta carga de energia radiante e perda de água, desenvolveu mecanismos de orientação de suas folhas com propósito de diminuir o efeito de tais fatores. Isso tem sido relatado em muitas espécies e algumas leguminosas que exibem movimentos foliares denominado paraheliotropismo, estando associado com altas intensidades luminosas, altas temperaturas e seca (BIELENBERG et al., 2003; YU; BERG, 1994). Outro mecanismo de adaptação à seca, é o enrolamento foliar que pode ser uma estratégia para reduzir a área de transpiração, mantendo os estômatos num microclima com umidade elevada (TURNER; JONES, 1980).

Pimentel et al. (2002), relataram elevada tolerância protoplasmática em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica em condições de campo. Além desse mecanismo, algumas plantas apresentam acumulação de compostos orgânicos como os açúcares solúveis e aminoácidos, responsáveis pelo ajustamento osmótico em condições de déficit hídrico (PINHO; ANSEL, 1995). Essa acumulação de solutos resulta no ajustamento osmótico e parece ser um importante mecanismo de adaptação à seca, permitindo a manutenção dos processos produtivos sob condições de deficiência hídrica (TURNER, 1986). Além disso, em tais condições, algumas plantas apresentam manutenção da elasticidade da parede celular e a redução do tamanho das células, aumentando a tolerância à deficiência hídrica (TURNER, 1979).

2.3. Respostas do sistema radicular à deficiência hídrica

A interfase do sistema radicular com o solo é essencial para ocorrência do processo de absorção de água e sais minerais. Já a extensão do solo explorado pelas raízes varia para espécie em questão e com as condições ambientais. Assim, os estudos sobre distribuição do sistema radicular são tidos como essenciais ao manejo adequado das plantas cultivadas. Além disso, a deficiência hídrica estimula o crescimento das raízes em profundidade para as zonas mais úmidas do perfil do solo (SANTOS; CARLESSO, 1998) e essa característica pode conferir adaptação à seca (HURD, 1968). Souza et al. (1983) afirmaram que as espécies e variedades com sistema radicular mais profundo apresentam melhor adaptação à escassez hídrica.

Hoogenboom et al. (1987), relataram que em condições de deficiência hídrica ocorre maior desenvolvimento do sistema radicular devido ao dessecamento da superfície do solo. Segundo Kramer e Boyer (1995), plantas expostas à deficiência hídrica moderada geralmente reduzem o crescimento da parte aérea antes que o das raízes, resultando em incremento na relação entre raiz com parte aérea. Esse estresse moderado reduz o crescimento foliar antes de reduzir a taxa fotossintética, resultando em excesso de carboidratos para as raízes (BOYER, 1970). Ao passo que sob deficiência hídrica severa, há redução no crescimento radicular do feijoeiro (GUIMARÃES et al., 1996).

Experimentos conduzidos por Stone et al. (1984) com arroz e Silva (1986) com amendoim, submetidos à deficiência hídrica, encontraram o aumento na relação entre raiz e parte aérea. Dias Filho (1995), estudando o efeito da deficiência hídrica em quatro espécies de plantas daninhas amazônicas, detectou aumentos significativos para relação raiz/parte aérea em *Ipomoea asarifolia*, *Stachytarpheta cayennensis*, ao passo que as espécies *Solanum crinitum* e *Vismia guianensis* não apresentaram alteração. De uma forma geral sob efeito de estresse hídrico, o autor verificou alterações no perfil da distribuição radicular em todas as espécies.

De acordo com Hudson (1960), o crescimento radicular em tomate é reduzido durante a frutificação. A densidade de raízes aumenta até o início do florescimento, diminuindo a partir daí a eficiência na absorção de água (DUNCAN; BALIGAR, 1991).

2.4. Respostas do crescimento da parte aérea à deficiência hídrica

Os índices fisiológicos da avaliação de crescimento é campo de estudo amplamente pesquisado por agrônomos, biólogos e ecologistas, com o propósito de avaliar o desempenho das plantas cultivadas sob condição de estresses natural ou induzido pelo homem. Dentre as variáveis estudadas na análise de crescimento destacam-se: área foliar, taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa crescimento relativo (TCR), razão de área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) (RADFORD, 1967; BENINCASA, 1988). O crescimento e a acumulação de matéria seca das plantas são variáveis em função de fatores genéticos (O'TOOLE e BLAND, 1987), ambientais como o estado hídrico (HEBERT et al., 2001), disponibilidade de nutrientes (MARANOV et al., 1998), e textura do solo (VOS et al., 1998).

As taxas de crescimento relativo da parte aérea, da raiz e total, em feijão-de-corda foram influenciadas pela deficiência hídrica nos períodos de 15 a 30 e 30 a 45 dias de estresse (ROCHA, 2001). Lopes et al. (1986), reportam que a taxa de produção de matéria seca do feijoeiro é reduzida drasticamente pelo estresse hídrico em decorrência das reduções na taxa assimilatória líquida e na área foliar.

Aguiar Netto et al. (1995), pesquisando plantas de ervilha sob redução do potencial de água no solo, observaram decréscimo na área foliar, e ausência de respostas na razão de matéria foliar, razão de área foliar, taxa assimilatória líquida e taxa de crescimento relativo.

Barros Junior et al. (2004), em respostas a deficiência hídrica determinaram reduções na altura da planta e no diâmetro do caule de mamona. Quando as plantas foram submetidas aos tratamentos de 40 e 60% de água disponível, praticamente paralisaram o seu desenvolvimento aos 60 dias após a semeadura.

3.0. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa constou de três ensaios conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza-Ceará, no período de janeiro a março de 2006, com as seguintes coordenadas geográficas: 3° 44'S latitude, 38° 33'W longitude Greenwich e altitude de 19,5 m.

Foram estudadas três espécies, utilizando duas cultivares de amendoim, duas de gergelim e duas de mamona descritas a seguir.

Para o amendoim usou-se a cultivar PI-165317, com ciclo de 90 dias (precoce) pertencente ao grupo Spanish, originária dos Estados Unidos da América, e a cultivar 57422, com ciclo de 110 dias (médio), pertence ao grupo Virginia, originária do ISRA, Senegal (TÁVORA et al., 2002).

Para o gergelim usou-se a cultivar CNPA-G₃ (MILANI et al., 2005), oriunda de seleção genealógica na cultivar Tegel, porte até 1,60m, ciclo 90 a 100 dias, hábito de crescimento ramificado, floração e maturação uniformes, número de frutos/axila igual a um, cor da semente creme, resistente à mancha angular. A cultivar CNPA-G₄ (EMBRAPA, 2000) é oriunda de seleção genealógica na cultivar Zirra FAO 51284, porte até 1,55m, ciclo de 90 dias, hábito de crescimento ramificado, floração e maturação uniformes, número de fruto/axila igual a um, cor da semente creme, teor de óleo 48 a 50%, tolerante à murcha de macrofomina, mancha angular e Cercosporiose.

Para a mamona usou-se a cultivar BRS 149 Nordestina (EMBRAPA, 1999), oriunda de seleção individual da cultivar baianita, com crescimento de até 1,90 m, intervalo médio da emergência ao primeiro racemo de 50 dias, teor médio de óleo da semente 48,9%, ciclo da emergência a última colheita de 230 a 250 dias e cor da semente preta. A cultivar Mirante 10 (SEMENTES ARMANI Ltda, sd), apresenta porte médio, início do florescimento 38 dias, colheita do primeiro cacho com 110 dias e teor de óleo da semente 53%.

Cada unidade experimental foi composta de um tubo PVC (com 0,15 m de diâmetro e 1,0 m de profundidade) contendo solo de textura franco-arenoso retirado da camada arável, 0-20 cm, peneirado e previamente esterilizado com 8 pastilhas do gastoxim (fosfeto de alumínio). Esse tubo PVC foi cortado longitudinalmente para facilitar o estudo da estratificação do sistema radicular, sendo previamente vedado (vedação dupla, ou seja, interna e externa) com fita adesiva transparente de 5 cm de largura. Em sua base colocou-se um disco de isopor perfurado para permitir a sustentação do solo e funcionar como dreno.

O solo empregado nos ensaios apresentou as seguintes características: $\text{Ca}^{++} = 1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Mg}^{++} = 0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{K}^+ = 0,04 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{P}^+ = 9 \text{ mg dm}^{-3}$, e $\text{pH} = 6,7$. A adubação foi procedida conforme as recomendações da análise de fertilidade do solo para cada tipo de cultura. Os fertilizantes empregados foram uréia, super-fosfato simples e cloreto de potássio.

Foram semeadas 5 sementes (amendoim), 15 sementes (gergelim) e 3 sementes pré-germinadas (mamona) por tubo PVC. As sementes de mamona foram postas para pré-germinar em laboratório em papel germi-teste, a uma temperatura constante de 25°C e fotoperíodo 8 horas de luz, e após 6 dias, semeadas nos tubos PVC.

O desbaste foi realizado aos 7 dias depois da emergência (DAE), deixando para cada espécie duas plântulas por recipiente, que apresentaram crescimento mais vigoroso. Desde a semeadura até a imposição da deficiência hídrica, os tubos PVC foram mantidos em condições de umidade próximas à capacidade de campo, com irrigação diária.

Aos 10 DAE as plantas foram submetidas a dois regimes hídricos, a saber:

- a) controle, onde todas as plantas eram irrigadas diariamente ao longo do período experimental, mantendo a umidade do solo próximo à capacidade de campo; e
- b) estresse, onde as plantas eram submetidas a ciclos de deficiência hídrica. A reidratação das plantas estressadas de amendoim, gergelim e mamona foi procedida tomando como base as observações visuais de murcha. Tal reidratação foi realizada no primeiro dia com apenas uma irrigação, depois que as plantas não conseguiam manter a turgescência da folha.

A cultura do gergelim teve ciclos de deficiência hídrica aos 10, 19, 26, 32, 42, 49 DAE, o que totalizou seis irrigações com intervalo médio de 7 dias. O amendoim teve ciclos de deficiência hídrica aos 10, 19, 27, 36, 44, 49 e 54 DAE, o que totalizou sete irrigações com intervalo médio também de 7 dias. A mamoneira teve ciclos de deficiência hídrica aos 10, 19, 27, 36, 41, 48 e 55 DAE, o que totalizou sete irrigações com intervalo médio de 9 dias.

As determinações de status hídrico e trocas gasosas foram tomadas aos 44 DAE em amendoim, 42 DAE em gergelim e 41 DAE na mamona, com cinco repetições em cada variável analisada.

As condições hídricas foram avaliadas pelo potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) e conteúdo relativo de água (CRA). Foram determinadas as seguintes variáveis para caracterizar as trocas gasosas: fotossíntese líquida (A_n), condutância estomática (g_s) e a transpiração (E). Para tal avaliação foi utilizado um analisador de CO_2 por radiação infra-vermelho ("Infra Red Gas Analyser-IRGA", modelo LCI BioScientfic). Outras leituras obtidas foram as temperaturas da folha e do ambiente e a concentração interna de CO_2 (C_i). De posse dos dados de fotossíntese

e transpiração foliar foi possível calcular o uso eficiência de água (UEA) através da relação A_n/E (SOUZA et al., 2001).

O Ψ_{wf} foi determinado através da câmara de Scholander (SCHOLANDER et al., 1965) às cinco horas da manhã para as culturas do amendoim e gergelim. Já no caso da mamona usou-se a prensa à membrana (PINHO, 1992). As amostras foliares foram coletadas ao acaso, com cinco repetições por tratamento, seguindo o critério: terceira folha expandida a partir do ápice para a base. O conteúdo relativo de água (CRA) foi determinado a partir de cinco amostras de 15 discos foliares de 0,5 cm de diâmetro. Foram obtidos o peso fresco (PF), peso túrgido (PT) e peso seco (PS) dos discos. O PF foi determinado logo após a chegada das amostras ao laboratório, sendo em seguida transferido para uma placa de Petri forrada com papel filtro saturado com água destilada por um período de 24 horas em ambiente escuro de modo a permitir a hidratação do tecido para obtenção do peso túrgido (PT). O PS foi determinado colocando-se os discos numa estufa regulada a 80°C por 24 horas. A fórmula para determinação do conteúdo relativo de água é a seguinte:

$$CRA = \frac{PF - PS}{PT - PS} \times 100$$

As variáveis, condutância estomática, transpiração foliar, temperatura foliar, fotossíntese, temperatura do ar e a concentração interna de CO₂ foram determinadas na terceira folha expandida do ápice para a base, estando exposta à radiação solar direta. Neste procedimento, empregaram-se cinco repetições por tratamento ao longo dos horários de 7, 9, 11 e 13 horas.

A colheita das plantas foi realizada aos 50 DAE para o gergelim, 55 DAE para o amendoim e 56 DAE para a mamona. Para os dados de raízes os tubos de PVC foram abertos longitudinalmente e o solo separado em estratos de 0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm e 75-100 cm a partir do topo, para determinação do volume de raiz (V_R), matéria seca das raízes (MSR) e peso específico de raízes (ρ_R). As raízes foram separadas com auxílio de jatos d'água sobre uma peneira de malha fina para retirar as partículas aderidas a sua superfície. Após este procedimento, determinou-se o volume das raízes, através do método da proveta volumétrica, pela variação do volume de água após a imersão de cada fração do sistema radicular. O peso específico da raiz foi calculado pela fórmula: $\rho_{raiz} = \frac{MS_R}{V_R}$, em que MS_R é matéria seca da raiz (g) e V_R volume de raiz (mL).

Para a parte aérea, foram coletadas as seguintes características: altura da planta, diâmetro do coleto e número de folhas e ramos. A altura da planta expressa em centímetros, foi obtida medindo-se a distância entre o nível do solo e o ápice da planta. O diâmetro do coleto foi determinado com o auxílio de um paquímetro.

A matéria seca da parte aérea (folha e caule) foi determinada após cortar-se a planta rente à superfície do solo, com cinco repetições por tratamento. A matéria seca total (MST) é resultado do somatório da matéria seca da parte aérea e da raiz. Para determinação da matéria seca, o material vegetal foi colocado em estufa regulada para 80 °C, por 24 horas, sendo depois pesado em balança com precisão de três casas decimais.

A área foliar (AF) das plantas foi determinada logo após a chegada ao laboratório. A área foliar foi determinada pelo método da quadricula (TÁVORA et al., 1982). A partir dos dados de biomatéria e área foliar, foi possível estabelecer as seguintes relações alométricas: relação matéria seca da raiz/ matéria seca da parte aérea (MSR/MSPA), relação matéria seca da raiz/matéria seca total (MSR/MST). A área foliar específica (AFE), determinada através da relação entre a área foliar e o peso da matéria seca de cada folha (BENINCASA, 1988) e a razão de área foliar (RAF), determinada através da relação entre área foliar e o peso da matéria seca total (RADFORD, 1967).

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado, com 5 repetições e 4 tratamentos. Os tratamentos foram dispostos num esquema fatorial (2 x 2), constituídos por duas cultivares de cada cultura, dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado), perfazendo 20 unidades experimentais.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando detectada a significância pelo teste F, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Empregou-se a análise de correlação, considerando a distribuição geral dos dados, ou seja, cultivares e regime hídrico nas culturas de amendoim, gergelim e mamona.

4.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CONDIÇÕES HÍDRICAS DAS PLANTAS.

4.1.1. Conteúdo relativo de água e Potencial hídrico foliar

Os valores de conteúdo relativo de água (CRA) não diferiram entre as cultivares para amendoim, gergelim e mamona. Entretanto, para regime hídrico, verificou-se diferenças significativas para conteúdo relativo de água e potencial hídrico foliar (ψ_f). Não foi constatada significância estatística para efeitos de interação entre regime hídrico e cultivar. Esta resposta revela um comportamento semelhante entre as cultivares das culturas estudadas, independentemente do regime hídrico aplicado. No caso da mamona, constatou-se efeito significativo de cultivar para o potencial hídrico. As demais culturas não mostraram efeitos significativos para esta variável (Tabela 1). Tanto o CRA como o Ψ_f , nas três culturas, apresentaram reduções significativas no tratamento seco em relação ao controle. No caso do CRA, ocorreram reduções de 52%, 27% e 20%, respectivamente em amendoim, gergelim e mamona (Tabela 2). No tocante ao potencial hídrico foliar, as médias para regime seco foram de -3,23; -1,68 e -0,76 MPa, para amendoim, gergelim e mamona, com reduções em valor absoluto em relação à testemunha de -2,99 MPa, -1,33 MPa e 0,56 MPa, respectivamente, para amendoim, gergelim e mamona (Tabela 2). Desta forma, a cultura que sofreu maiores variações na condição de hidratação em resposta à aplicação da deficiência hídrica foi o amendoim seguido do gergelim e da mamona.

A cultivar de mamona Mirante apresentou comportamento superior ao da Nordestina, mostrando maior eficiência na manutenção do potencial hídrico foliar, quando submetida a deficiência hídrica.

As relações hídricas das plantas têm sido amplamente investigadas por diversos autores sob condições de deficiência hídrica, através do potencial hídrico foliar e conteúdo relativo d'água na folha. Hsaio (1973) relata que o potencial hídrico foliar é aceito como medida indicadora das condições hídricas do vegetal. No corrente trabalho foram constatadas reduções significativas no potencial hídrico foliar do amendoim, gergelim e mamona. Resultados semelhantes são citados por Sá Sobrinho (1988), Távora e Melo (1991), Nogueira et al. (1998), Nautiyal et al. (1999) e Nogueira e Santos (2000) em *Arachis hipogae* L., Costa (1995), Pimentel e Hérbet (1999) e Rocha (2001) em *Vigna unguiculata* (L) Walp, Pimentel e Peres (2000) e Zlatev (2005) em *Phaseolus vulgaris* L., Salinas et al., (1996) em *Glycine max*

L, Pandey et al. (1984), nas espécies de *Vigna radiata* L., *Vigna unguiculata* (L) Walp, *Glycine max* L e *Arachis hipogae* L., Denadai e Klar (1995) e Siddique et al. (2000) em *Triticum aestivum*, Molnár et al. (2002) em *Triticum aestivum*, L. e *Aegilops biuncialis*, Costa (2000) e Atteya (2003) em *Zea mays* L., Ferrarotto (2003), em duas espécies de *Amaranthus* e Paz et al. (2003), em *Barleria lupulina* Lindl e Oliveira et al. (2002) em *Bactris gasipaes* Kunth.

A exemplo do potencial hídrico foliar, verificaram-se também reduções significativas no conteúdo relativo d'água nas plantas de amendoim, gergelim e mamona. Tais respostas estão em conformidade com de Babu e Rao (1983) e Nautiyal et al. (1999) em *Arachis hipogae* L., Kimani et al. (1994) em *Cajanus cajan* (L.) Millsp., Costa (2000) e Atteya (2003) em *Zea mays* L, Zlatev (2005) em *Phaseolus vulgaris* L. e Siddique et al., (2000) em *Triticum aestivum*, L., Ünyayar et al. (2004) em *Helianthus annuus*, Pereira Netto (1999) em *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth, Queiroz et al. (2002) em *Myracrodruon urundeva* Fr . All. (Anacardiaceae) e Kirnak et al. (2001) em *Solanum melongena* L. cv., Teorem F1.

Tabela 1. Quadrado médio e coeficiente de variação do conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico foliar (Ψ_{folha}) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | |
|--|----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| CRA (%) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 2,1780 ^{NS} | 4,7239 ^{NS} | 1,3886 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 8652,8000 ^{**} | 2413,4045 ^{**} | 1589,3662 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0080 ^{NS} | 15,5585 ^{NS} | 7,4054 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 2884,9953 | 811,2290 | 532,7201 |
| Resíduo | 16 | 10,1933 | 11,0010 | 27,0420 |
| CV (%) | | 5,4 | 4,7 | 6,7 |
| Ψ_{folha}(MPa) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0008 ^{NS} | 0,0039 ^{NS} | 0,0231 [*] |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 44,8891 ^{**} | 8,8711 ^{**} | 1,5905 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0001 ^{NS} | 0,0007 ^{NS} | 0,0168 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 14,9633 | 2,9586 | 0,5435 |
| Resíduo | 16 | 0,0722 | 0,0250 | 0,0043 |
| CV (%) | | 15,5 | 15,5 | 13,7 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 2. Conteúdo relativo d'água (CRA) e potencial hídrico foliar (Ψ_{folha}) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| | CRA (%) | Ψ_{folha} (MPa) |
|-----------------------|---------|-----------------------------|
| Amendoim | | |
| Cultivar | | |
| PI-165317 | 59,49 a | -1,74 a |
| 57422 | 58,83 a | -1,72 a |
| Regime hídrico | | |
| Controle | 79,96 a | -0,23 a |
| Estressado | 38,36 b | -3,23 b |
| Gergelim | | |
| Cultivar | | |
| CNPA-G ₃ | 70,14 a | -1,00 a |
| CNPA-G ₄ | 71,12 a | -1,03 a |
| Regime hídrico | | |
| Controle | 81,61 a | -0,35 a |
| Estressado | 59,64 b | -1,68 b |
| Mamona | | |
| Cultivar | | |
| Mirante | 77,62 a | -0,44 a |
| Nordestina | 78,14 a | -0,50 b |
| Regime hídrico | | |
| Controle | 86,79 a | -0,19 a |
| Estressado | 68,97 b | -0,75 b |

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2. Trocas gasosas

4.2.1. Transpiração foliar

O resultado da análise de variância para a transpiração foliar indicou resposta diferenciada nas três culturas com relação ao regime hídrico, enquanto para cultivares não foi obtido efeito significativo (Tabelas 3 e 4). A interação entre cultivar x regime hídrico não mostrou significância para a variável transpiração foliar, revelando uma resposta semelhante entre as três espécies e suas cultivares, independentemente do regime hídrico. Em termos comparativos, verificou-se redução média no tratamento seco em relação ao úmido na transpiração (Tabela 4) do amendoim, gergelim e mamona de 85,5; 83,5 e 71,6 %, respectivamente em resposta à redução nas condições hídricas da planta (queda no CRA e Ψ_f).

Os menores valores observados para o amendoim e gergelim ocorreram por volta das 13 horas, enquanto, na mamona o mínimo ocorreu mais cedo, às 9 horas. A planta apresenta maiores valores de taxa transpiratória com o aumento do déficit de pressão de vapor da atmosfera, entretanto, quando submetida à deficiência hídrica, tende a reduzir esta taxa, mesmo sob condições de aumento do déficit de pressão de vapor do ambiente (XUE et al., 2004).

Sabe-se que a transpiração é necessária ao crescimento e desenvolvimento do vegetal, pois nesse momento também ocorre a absorção de CO₂. Além disso, a transpiração atua como componente do resfriamento, reduzindo o calor absorvido pela radiação solar. Por isso os estudos comparativos entre plantas irrigadas e expostas a insuficiência de água no solo assumem importância capital. Desta forma, os seguintes, autores conduziram experimentos com tal propósito: Távora e Melo (1991), Oliveira Junior (1993), Nogueira e Santos (2000) e Lauriano et al. (2004) para o amendoim, Rocha (2001), Anyia et al. (2004) e Oliveira et al. (2005) para o caupi e Salinas et al. (1996) para a soja. As diferenças na taxa transpiratória entre plantas estressadas e irrigadas podem ser explicadas pelo aumento na resistência estomática das plantas estressadas, que diminui a transpiração e incrementa a temperatura foliar (COSTA et al., 1988; NOGUEIRA et al., 1998).

Tabela 3. Quadrado médio e Coeficiente de variação da transpiração foliar ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | |
|---------------------|----|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| 7 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0370 ^{NS} | 0,0135 ^{NS} | 0,6882 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 10,4546 ^{**} | 32,6657 ^{**} | 4,2412 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0029 ^{NS} | 0,2376 ^{NS} | 0,0451 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 3,4981 | 10,9723 | 1,6582 |
| Resíduo | 16 | 0,1077 | 0,4271 | 0,3426 |
| CV(%) | | 25,6 | 35,4 | 41,2 |
| 9 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 1,0125 ^{NS} | 0,2691 ^{NS} | 6,1938 [*] |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 47,7405 ^{**} | 68,8205 ^{**} | 46,4210 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0029 ^{NS} | 0,461 ^{NS} | 4,6754 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 16,2520 | 23,0452 | 19,0968 |
| Resíduo | 16 | 0,4461 | 0,6750 | 1,1081 |
| CV (%) | | 35,9 | 35,9 | 50,4 |
| 11 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 1,9546 ^{NS} | 0,0500 ^{NS} | 3,6125 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 114,1942 ^{**} | 36,9920 ^{**} | 60,9005 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 1,3572 ^{NS} | 0,2599 ^{NS} | 0,0274 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 39,1724 | 12,4340 | 21,5135 |
| Resíduo | 16 | 0,6665 | 0,2368 | 1,3550 |
| CV (%) | | 26,44 | 30,1 | 48,00 |
| 13 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0029 ^{NS} | 0,3618 ^{NS} | 17,9172 [*] |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,0898 ^{**} | 5,5651 ^{**} | 54,0876 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0007 ^{NS} | 0,5088 ^{NS} | 1,3056 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,0311 | 2,1452 | 24,4368 |
| Resíduo | 16 | 0,0016 | 0,0912 | 3,4073 |
| CV (%) | | 55,2 | 36,0 | 58,9 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 4. Transpiração foliar em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| | E (mmol.m⁻².s⁻¹) | | | |
|---------------------|---|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | 7horas | 9horas | 11 horas | 13 horas |
| Amendoim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| PI-165317 | 1,32 a | 2,08 a | 3,40 a | 2,18 a |
| 57422 | 1,240 a | 1,64 a | 2,77 a | 1,63 a |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 2,00 a | 3,40 a | 5,48 a | 3,50 a |
| Estressado | 0,55 b | 0,31 b | 0,70 b | 0,32 b |
| Gergelim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| CNPA-G ₃ | 1,86 a | 2,48 a | 1,66 a | 0,97 a |
| CNPA-G ₄ | 1,81 a | 2,71 a | 1,56 a | 0,70 a |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 3,12 a | 4,45 a | 2,97 a | 1,36 a |
| Estressado | 0,56 b | 0,74 b | 0,25 b | 0,31 b |
| Mamona | | | | |
| | | Cultivar | | |
| Mirante | 1,60 a | 1,53 b | 2,84 a | 4,07 a |
| Nordestina | 1,23 a | 2,64 a | 1,99 a | 2,18 b |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 1,87 a | 3,61 a | 4,16 a | 4,77 a |
| Estressado | 0,95 b | 0,56 b | 0,67 b | 1,48 b |

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.2. Condutância estomática

A análise de variância para condutância estomática indicou resposta significativa nas três culturas com relação ao regime hídrico, enquanto para cultivares não foi obtido efeito significativo. A interação entre cultivar x regime hídrico apresentou significância apenas para a cultura do gergelim no horário das 13 horas (Tabelas 5). Avaliando-se o desempenho das três culturas submetidas a ciclos de deficiência hídrica, no que se refere à variável condutância estomática (Tabela 6), constatou-se redução média percentual ao longo do dia de 90,9, 92,5 e 85,5 % no regime seco em relação ao controle, para o amendoim, gergelim e mamona, respectivamente, em resposta à diminuição nas condições hídricas da planta (queda no CRA e Ψ_f). Os valores mínimos foram observados para amendoim e mamona às 13 horas e gergelim às 11 horas.

Vários autores também verificaram reduções na condutância estomática, quando compararam plantas estressadas com irrigadas nas culturas do amendoim (LAURIANO et al., 2004), caupi (COSTA, 1995), girassol e beterraba açucareira (SOUZA et al., 2004), trigo (SASSAKI; MACHADO, 1999), kudzu (PEREIRA NETTO, 1999) e pupunheira (OLIVEIRA et al., 2002). Para Atteya (2003) as reduções na condutância estomática em plantas submetidas à deficiência hídrica estão associadas ao declínio no potencial hídrico e conteúdo relativo d'água na folha.

Tabela 5. Quadrado médio e coeficiente de variação da condutância estomática ($\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | |
|---------------------|----|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| 7 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0000 ^{NS} | 0,0007 ^{NS} | 0,0002 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,2205 ^{**} | 0,2509 ^{**} | 0,1960 [*] |
| Interação C x RH | 1 | 0,0010 ^{NS} | 0,0024 ^{NS} | 0,0673 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,0738 | 0,0847 | 0,0676 |
| Resíduo | 16 | 0,0025 | 0,0138 | 0,0375 |
| CV (%) | | 32,5 | 88,4 | 92,1 |
| 9 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0045 ^{NS} | 0,0008 ^{NS} | 0,0296 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,3226 ^{**} | 0,1980 ^{**} | 0,3836 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0010 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} | 0,0186 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,1094 | 0,0663 | 0,1440 |
| Resíduo | 16 | 0,0037 | 0,0035 | 0,0105 |
| CV (%) | | 38,9 | 50,6 | 63,2 |
| 11 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0168 ^{NS} | 0,0001 ^{NS} | 0,0101 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,5445 ^{**} | 0,0490 ^{**} | 0,2531 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0146 ^{NS} | 0,0004 ^{NS} | 0,0014 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,1920 | 0,0165 | 0,0882 |
| Resíduo | 16 | 0,0197 | 0,0005 | 0,0095 |
| CV (%) | | 77,5 | 44,8 | 65,4 |
| 13 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0029 ^{NS} | 0,0004 ^{NS} | 0,0061 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,0898 ^{**} | 0,0092 ^{**} | 0,1328 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0007 ^{NS} | 0,0011 [*] | 0,0042 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,0311 | 0,0036 | 0,0477 |
| Resíduo | 16 | 0,0016 | 0,0001 | 0,0021 |
| CV (%) | | 55,3 | 45,0 | 52,4 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 6. Condutância estomática em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| | g_s ($\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
|---------------------|--|-----------------------|----------|----------|
| | 7horas | 9horas | 11 horas | 13 horas |
| Amendoim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| PI-165317 | 0,15 a | 0,17 a | 0,21 a | 0,085 a |
| 57422 | 0,15 a | 0,14 a | 0,15 a | 0,06 a |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 0,25 a | 0,28 a | 0,35 a | 0,14 a |
| Estressado | 0,04 b | 0,02 b | 0,02 b | 0,01 b |
| Gergelim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| CNPA-G ₃ | 0,13 a | 0,11 a | 0,05 a | 0,03 a |
| CNPA-G ₄ | 0,12 a | 0,12 a | 0,04 a | 0,02 a |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 0,24 a | 0,21 a | 0,10 a | 0,04 a |
| Estressado | 0,02 b | 0,01 b | 0,002 b | 0,01 b |
| Mamona | | | | |
| | | Cultivar | | |
| Mirante | 0,21 a | 0,20 a | 0,17 a | 0,10 a |
| Nordestina | 0,20 a | 0,12 a | 0,12 a | 0,06 a |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 0,30 a | 0,30 a | 0,26 a | 0,16 a |
| Estressado | 0,11 b | 0,02 b | 0,03 b | 0,005 b |

[†] Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.3. Taxa fotossintética

Os valores observados para a taxa fotossintética mostraram comportamento semelhante aos obtidos com a transpiração e a condutância estomática, indicando a ocorrência de uma estreita relação entre essas variáveis. Houve diferenças significativas em todos os horários para efeito de regime hídrico nas três culturas. Com relação ao efeito de cultivares, foram constatadas apenas diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade nos horários de 11 e 13 horas para o amendoim e a mamona, respectivamente (Tabela 7). Nas três culturas, a deficiência hídrica determinou grandes reduções na taxa fotossintética, independentemente da cultivar ou hora do dia (Tabela 8).

As cultivares Mirante 10 (mamona) e PI 165317 (amendoim) apresentaram tendência para valores maiores de taxa fotossintética, embora só tenham atingido significância nas leituras tomadas às 11 e 13 horas para amendoim e mamona, respectivamente (Tabela 7).

Os valores máximos da taxa fotossintética foram obtidos no tratamento controle às 11 horas para a mamona e amendoim e às 9 horas para o gergelim. Detectaram-se reduções na ordem de 84,5; 92,5 e 78,9 % em média, ao longo do dia nas plantas submetidas à deficiência hídrica em relação ao controle, em amendoim, gergelim e mamona, respectivamente (Tabela 8).

A taxa fotossintética é responsável direta pela acumulação de matéria seca do vegetal, desta forma os estudos de comparação em plantas, sob condições normais e sob deficiência hídrica, assumem grande validade, podendo até ser empregados como ferramenta auxiliar na seleção de genótipos tolerantes a seca. A propósito, o amendoim, gergelim e a mamona, apresentaram reduções na assimilação fotossintética. A par da importância desta medida, alguns autores pesquisaram e verificaram reduções expressivas na taxa fotossintética de plantas estressadas, dentre eles, Lauriano et al. (2004) em amendoim, Anyia et al. (2004) em caupi, Vu et al. (1987) em soja, Beltrão et al. (2003), em mamona, Siddique et al. (1999) em trigo, Souza et al. (2004) em girassol e beterraba açucareira. Além da deficiência hídrica, essa redução pode também estar associada em parte às altas temperaturas e ao alto déficit de pressão de vapor da atmosfera (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Tabela 7. Quadrado médio e coeficiente de variação da taxa fotossintética ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | G.L. | Quadrado Médio | | |
|---------------------|------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| 7 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,9116 ^{NS} | 2,2717 ^{NS} | 9,8420 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 173,4016 ^{**} | 451,8202 ^{**} | 60,1698 ^{**} |
| Interação CxRH | 1 | 0,0396 ^{NS} | 0,0135 ^{NS} | 7,8250 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 58,1176 | 151,3684 | 25,9456 |
| Resíduo | 16 | 2,9990 | 15,6309 | 5,7448 |
| CV (%) | | 32,7 | 73,3 | 44,6 |
| 9 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 9,8701 ^{NS} | 1,9282 ^{NS} | 0,5678 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 354,0611 ^{**} | 471,5176 ^{**} | 505,5151 ^{**} |
| Interação CxRH | 1 | 0,1110 ^{NS} | 0,4292 ^{NS} | 6,0170 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 121,3474 | 157,9584 | 170,7000 |
| Resíduo | 16 | 8,4207 | 5,0223 | 16,0299 |
| CV (%) | | 43,7 | 37,3 | 53,9 |
| 11 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 85,2432* | 1,4311 ^{NS} | 3,7671 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 656,7726 ^{**} | 357,0970 ^{**} | 707,8120 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 71,7826 | 1,6646 ^{NS} | 1,1329 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 271,7826 | 120,0643 | 237,5707 |
| Resíduo | 16 | 19,0716 | 4,4103 | 7,1302 |
| CV (%) | | 60,4 | 47,5 | 35,6 |
| 13 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 12,6087 ^{NS} | 2,5633 ^{NS} | 18,3361* |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 439,3594 ^{**} | 57,9361 ^{**} | 488,1708 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0146 ^{NS} | 2,880* | 12,5294 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 150,6609 | 21,1291 | 173,0121 |
| Resíduo | 16 | 4,4923 | 0,6134 | 3,8967 |
| CV (%) | | 36,0 | 36,8 | 33,9 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 8. Taxa fotossintética ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| | A_n ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) | | | |
|---------------------|--|-----------------------|----------|----------|
| | 7horas | 9horas | 11 horas | 13 horas |
| Amendoim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| PI-165317 | 5,49 a | 7,34 a | 9,28 a | 6,67 a |
| 57422 | 5,07 a | 5,93 a | 5,16 b | 5,08 a |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 8,23 a | 10,84 a | 12,95 a | 10,56 a |
| Estressado | 2,34 b | 2,43 b | 1,49 b | 1,19 b |
| Gergelim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| CNPA-G ₃ | 5,05 a | 5,69 a | 4,15 a | 2,48 a |
| CNPA-G ₄ | 5,72 a | 6,31 a | 4,68 a | 1,77 a |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 10,14 a | 10,85 a | 8,64 a | 3,83 a |
| Estressado | 0,63 b | 1,14 b | 0,19 b | 0,42 b |
| Mamona | | | | |
| | | Cultivar | | |
| Mirante | 6,07 a | 7,58 a | 7,93 a | 6,78 a |
| Nordestina | 4,66 a | 7,25 a | 7,06 a | 4,86 b |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 7,10 a | 12,44 a | 13,44 a | 10,76 a |
| Estressado | 3,63 b | 2,39 b | 1,55 b | 0,88 b |

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.4. Concentração interna de CO₂

A concentração interna de CO₂ não foi afetada para o efeito cultivar nas três espécies estudadas (Tabela 9). Contudo, para regime hídrico, nota-se, em todas as culturas, uma tendência de redução dos níveis internos de CO₂ quando as plantas foram submetidas à deficiência hídrica, provavelmente, em virtude da redução da abertura estomática (Tabela 10). Apesar desta tendência generalizada, foram constatadas apenas diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade para o amendoim às 9 horas; gergelim, às 7, 11 e 13 horas; e mamona às 11 e 13 horas. Os percentuais de redução foram menores que os obtidos para transpiração, condutância estomática e fotossíntese, nas três culturas estudadas, sugerindo que essa variável parece ser menos sensível a alterações causadas pela deficiência hídrica.

Há relatos diferenciados, no que diz respeito à concentração interna de CO₂, sugerindo que essas variações ocorrem de forma diferenciada entre espécies submetidas à deficiência hídrica. No corrente trabalho constatou-se redução, independentemente da cultura analisada, quando exposta à deficiência hídrica. Essas respostas corroboram com as demonstradas por Lauriano et al. (2004) em amendoim, Souza et al. (2004) em girassol e beterraba açucareira. Os aumentos na concentração interna de CO₂ estão associados à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO₂ (MACHADO et al., 1999). Resultados semelhantes foram obtidos em condições de deficiência hídrica, por Anyia et al. (2004), em *Vigna unguiculata* (L.) Walp e Siddique et al. (1999) em *Triticum aestivum* (L.).

Tabela 9. Quadrado médio e coeficiente de variação da concentração interna de CO₂, (μmol. mol) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | |
|---------------------|----|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| 7 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,800 ^{NS} | 3564,450 ^{NS} | 6408,20 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 819,2 ^{NS} | 13676,45 * | 2040,20 ^{NS} |
| Interação CxRH | 1 | 336,2 ^{NS} | 2,450 ^{NS} | 10305,8 * |
| Tratamento | 3 | 385,4000 | 5747,7833 | 6251,400 |
| Resíduo | 16 | 1164,1000 | 3002,0750 | 1475,7520 |
| CV (%) | | 11,9 | 20,2 | 12,8 |
| 9 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 627,2 ^{NS} | 26,450 ^{NS} | 0,2000 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 12903,200 ** | 5611,2500 ^{NS} | 1300,5 ^{NS} |
| Interação CxRH | 1 | 583,200 ^{NS} | 4,0500 ^{NS} | 1036,80 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 4704,5333 | 1880,5833 | 4680,6667 |
| Resíduo | 16 | 1140,9500 | 3881,050 | 3579,8250 |
| CV(%) | | 14,0 | 25,6 | 26,2 |
| 11 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 966,05 ^{NS} | 1584,20 ^{NS} | 296,45 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 5478,05 ^{NS} | 48.020,00** | 42044,45 ** |
| Interação CxRH | 1 | 0,05000 ^{NS} | 4.805,00 ^{NS} | 2904,05 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 2148,0500 | 18.136,40 | 15080,650 |
| Resíduo | 16 | 2429,1500 | 1.864,75 | 1975,9750 |
| CV(%) | | 24,6 | 18,90 | 25,4 |
| 13 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 1862,45 ^{NS} | 68,45 ^{NS} | 1232,45 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 151,25 ^{NS} | 24.992,45** | 12725,25 ** |
| Interação CxRH | 1 | 238,05 ^{NS} | 530,456 ^{NS} | 1428,05 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 750,5833 | 8530,45 | 5137,45 |
| Resíduo | 16 | 1784,700 | 2223,60 | 1361,45 |
| CV(%) | | 23,2 | 19,5 | 20,5 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 10. Concentração interna de CO₂ (μmol.mol) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| | C_i (μmol.mol) | | | |
|---------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | 7horas | 9horas | 11 horas | 13 horas |
| Amendoim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| PI-165317 | 284,60 a | 246,20 a | 207,10 a | 192,10 a |
| 57422 | 285,70 a | 235,00 a | 193,20 a | 178,80 a |
| | | Regime Hídrico | | |
| Controle | 291,30 a | 266,00 a | 216,70 a | 185,20 a |
| Estressado | 278,50 a | 215,20 b | 183,60 a | 179,70 a |
| Gergelim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| CNPA-G ₃ | 284,50 a | 241,70 a | 237,10 a | 243,80 a |
| CNPA-G ₄ | 257,80 a | 244,00 a | 219,30 a | 240,10 a |
| | | Regime Hídrico | | |
| Controle | 297,30 a | 259,90 a | 277,20 a | 277,30 a |
| Estressado | 245,00 b | 226,10 a | 179,20 b | 206,60 b |
| Mamona | | | | |
| | | Cultivar | | |
| Mirante | 315,80 a | 227,70 a | 171,30 a | 187,80 a |
| Nordestina | 280,00 a | 227,90 a | 179,00 a | 172,10 a |
| | | Regime Hídrico | | |
| Controle | 308,00 a | 253,30 a | 221,00 a | 205,20 a |
| Estressado | 287,80 a | 202,30 a | 129,30 b | 154,70 b |

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2.5. Uso eficiente de água

Para o uso eficiente de água (UEA), não foi detectada diferença entre cultivares ao longo do dia, nas três espécies estudadas, exceto às 13 horas na cultura do amendoim (Tabela 11). O regime hídrico não gerou mudanças no UEA para a cultura do amendoim. Com relação à mamona, constatou-se uma redução dessa variável quando a planta foi submetida ao déficit hídrico apenas no período das 11 horas. Ao contrário, o gergelim mostrou-se muito sensível ao déficit hídrico com reduções no UEA em todos os períodos amostrados (Tabelas 11 e 12). O UEA teve decréscimos ao longo do dia nas plantas de gergelim, possivelmente em virtude do declínio da condutância estomática durante a deficiência hídrica, a qual provoca redução na eficiência de assimilação através do processo fotossintético. Alguns autores sugerem que o declínio no UEA, decorre da diminuição na condutância estomática, a qual afeta com maior intensidade a taxa fotossintética do que a taxa transpiratória da folha (MACHADO et al., 1999; AWAL; IKEDA, 2002; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Apenas o gergelim apresentou diminuição no uso eficiente de água. Contrariamente, o amendoim e a mamona permaneceram inalterados, quando expostos a deficiência hídrica. Diminuições no uso eficiente de água foram também constatadas por Lauriano et al. (2004) em amendoim submetido a deficiência hídrica. Já aumentos em tais condições foram constatados por Souza et al. (2005), em feijão comum, Souza et al. (2004) em girassol e beterraba açucareira.

Tabela 11. Quadrado médio e coeficiente de variação do uso eficiente de água, UEA, ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}/\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | |
|---------------------|----|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| 7 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,7920 ^{NS} | 2,5490 ^{NS} | 1,4634 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 1,5346 ^{NS} | 24,1121 * | 0,0031 ^{NS} |
| Interação CxRH | 1 | 0,6552 ^{NS} | 0,4090 ^{NS} | 12,4978 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,9939 | 9,0233 | 4,6548 |
| Resíduo | 16 | 8,2451 | 3,3785 | 2,9271 |
| CV (%) | | 63,7 | 77,2 | 42,6 |
| 9 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 2,0480 ^{NS} | 0,2977 ^{NS} | 0,5712 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 2,1125 ^{NS} | 8,8656 ** | 2,9032 ^{NS} |
| Interação CxRH | 1 | 2,1912 ^{NS} | 0,6408 ^{NS} | 14,4840 * |
| Tratamento | 3 | 2,1172 | 3,2080 | 5,9862 |
| Resíduo | 16 | 1,2449 | 0,5066 | 2,5694 |
| CV (%) | | 26,2 | 38,8 | 45,1 |
| 11 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 2,1320 ^{NS} | 0,7069 ^{NS} | 2,9722 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 2,1846 ^{NS} | 19,4045 ** | 6,9502 * |
| Interação CxRH | 1 | 2,1190 ^{NS} | 0,9768 ^{NS} | 10,2102 ** |
| Tratamento | 3 | 2,1452 | 7,0294 | 6,7109 |
| Resíduo | 16 | 1,2541 | 0,8057 | 1,0668 |
| CV (%) | | 26,4 | 46,1 | 26,3 |
| 13 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 3,9516** | 0,0039 ^{NS} | 0,0312 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,4774 ^{NS} | 12,0746 ** | 0,0162 ^{NS} |
| Interação CxRH | 1 | 4,5410 ** | 0,0696 ^{NS} | 0,3781 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 2,9900 | 4,0494 | 0,1419 |
| Resíduo | 16 | 0,3142 | 0,7913 | 0,2535 |
| CV (%) | | 17,2 | 42,9 | 21,7 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 12. Uso eficiente de água (UEA) em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| | UEA ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ / $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) | | | |
|---------------------|---|-----------------------|----------|----------|
| | 7horas | 9horas | 11 horas | 13 horas |
| Amendoim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| PI-165317 | 4,31 a | 3,93 a | 3,91 a | 2,81 b |
| 57422 | 4,70 a | 4,57 a | 4,57 a | 3,70 a |
| | | Regime Hídrico | | |
| Controle | 4,78 a | 4,57 a | 4,57 a | 3,41 a |
| Estressado | 4,23 a | 3,92 a | 3,91 a | 3,10 a |
| Gergelim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| CNPA-G ₃ | 2,02 a | 1,70 a | 1,75 a | 2,07 a |
| CNPA-G ₄ | 2,78 a | 1,95 a | 2,13 a | 2,09 a |
| | | Regime Hídrico | | |
| Controle | 3,48 a | 2,48 a | 2,93 a | 2,86 a |
| Estressado | 1,28 b | 1,17 b | 0,96 b | 1,30 b |
| Mamona | | | | |
| | | Cultivar | | |
| Mirante | 3,74 a | 3,38 a | 3,54 a | 2,36 a |
| Nordestina | 4,28 a | 3,72 a | 4,31 a | 2,28 a |
| | | Regime Hídrico | | |
| Controle | 4,02 a | 3,93 a | 4,51 a | 2,35 a |
| Estressado | 3,99 a | 3,17 a | 3,33 b | 2,29 a |

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3. Temperatura da folha

As cultivares estudadas não apresentaram alterações diferenciadas para relação entre temperatura da folha e ambiente, exceto em mamona às 13 horas. Entretanto, para regime hídrico foi verificada diferença significativa no período compreendido de 7 a 13 horas em todas as espécies (Tabela 13). Não foi detectada interação para os fatores cultivar versus regime hídrico, denotando, que as alterações sofreram modificações da mesma magnitude, exceto em mamona às 13 horas, onde a cultivar Mirante sendo superior em termos de resfriamento foliar, quando confrontada a cultivar Nordestina, provavelmente causado pela depressão entre taxa transpiratória e absorção de água.

A temperatura foliar, a relação entre temperatura foliar e ambiente ou mesmo a diferença entre ambas, tem sido empregada por diversos pesquisadores como indicador das condições hídricas das plantas. Essa variável indicadora tem a vantagem de não utilizar amostras destrutivas. A temperatura foliar é usada como indicativo do momento de irrigar, pois revela se a planta está sofrendo com a insuficiência de água no solo (CASCARDO et al., 1993; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Experimento conduzido por Távora e Melo (1991) em amendoim sob deficiência hídrica, indica que os valores de diferença da temperatura da atmosfera e da superfície foliar acompanharam de perto aqueles obtidos com a resistência estomática e a transpiração, constituindo, assim, um excelente parâmetro para aferição indireta das condições hídricas da planta. Enquanto Millar (1972), Jung e Scott (1980) e Berengena (1987) sugerem que a relação entre temperatura foliar e ambiente pode ser usada como indicador das condições hídricas da planta.

Nogueira et al. (1998) em amendoim, e Rocha (2001) e Oliveira et al. (2005) em feijão-de-corda, reportam que a elevação da temperatura foliar em resposta ao estresse hídrico pode ser explicada pela redução na perda de calor latente através da transpiração que normalmente reduz nestas condições.

Tabela 13. Quadrado médio e relação entre temperatura da folha e ambiente, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | |
|---------------------|----|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| 7 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0000 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,0006** | 0,0007* | 0,0004* |
| Interação C x RH | 1 | 0,0000 ^{NS} | 0,0001 ^{NS} | 0,2057 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0001 |
| Resíduo | 16 | 0,0000 | 0,0001 | 0,0001 |
| CV (%) | | 0,32 | 0,97 | 0,77 |
| 9 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0000 ^{NS} | 0,0002 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,0012** | 0,0051** | 0,0014* |
| Interação C x RH | 1 | 0,0000 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} | 0,0004 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,0004 | 0,0018 | 0,0006 |
| Resíduo | 16 | 0,0000 | 0,0001 | 0,0002 |
| CV (%) | | 0,38 | 1,22 | 1,26 |
| 11 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0002 ^{NS} | 0,0000 | 0,0003 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,0065** | 0,0042* | 0,0038** |
| Interação C x RH | 1 | 0,0001 ^{NS} | 0,0000 | 0,0000 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,0023 | 0,0014 | 0,0014 |
| Resíduo | 16 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0003 |
| CV (%) | | 1,20 | 0,78 | 1,77 |
| 13 horas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0000 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} | 0,0004* |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,0011* | 0,0003** | 0,0028** |
| Interação C x RH | 1 | 0,0000 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} | 0,0004* |
| Tratamento | 3 | 0,0004 | 0,0001 | 0,0012 |
| Resíduo | 16 | 0,0002 | 0,0000 | 0,0001 |
| CV (%) | | 1,24 | 0,41 | 0,84 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 14. Relação entre temperatura da folha e ambiente, ao longo de um período, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| | T_f/T_{ar} (°C/°C) | | | |
|---------------------|----------------------|-----------------------|----------|----------|
| | 7horas | 9horas | 11 horas | 13 horas |
| Amendoim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| PI-165317 | 0,99 a | 0,99 a | 0,99 a | 1,00 a |
| 57422 | 0,99 a | 0,99 a | 1,00 a | 1,00 a |
| | | Regime hídrico | | |
| Controle | 0,99 a | 0,98 a | 0,98 a | 0,99 a |
| Estressado | 1,00 b | 1,00 b | 1,01 b | 1,01 b |
| Gergelim | | | | |
| | | Cultivar | | |
| CNPA-G ₃ | 0,99 a | 1,00 a | 1,01 a | 1,00 a |
| CNPA-G ₄ | 0,99 a | 0,99 a | 1,01 a | 1,00 a |
| | | Regime Hídrico | | |
| Controle | 0,99 a | 0,98 a | 0,99 a | 0,99 a |
| Estressado | 1,00 b | 1,01 b | 1,02 b | 1,00 b |
| Mamona | | | | |
| | | Cultivar | | |
| Mirante | 0,99 a | 1,01 a | 1,01 a | 1,00 b |
| Nordestina | 0,99 a | 1,00 a | 1,00 a | 1,01 a |
| | | Regime Hídrico | | |
| Controle | 0,99 a | 1,00 a | 0,99 a | 0,99 a |
| Estressado | 1,00b | 1,01 b | 1,02 b | 1,01 b |

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4. Correlação entre as variáveis fisiológicas

As correlações entre $CRA \times \Psi_f$; $A_n \times g_s$; $A_n \times E$; $g_s \times E$, apresentaram resultados significativos e positivos, mostrando uma base de relacionamento estreita entre as variáveis analisadas de trocas gasosas e condições hídricas (Tabela 15). Por outro lado, as correlações entre $A_n \times T_f/Tar$, $E \times T_f/Tar$, $g_s \times T_f/Tar$ também mostraram resultados significativos, mas negativos, ou seja, aumentos na relação entre a temperatura da folha e ambiente, provocaram diminuições na taxa fotossintética, taxa transpiratória e condutância estomática (Tabela 15). A alta correlação de $CRA \times \Psi_f$, indica que o conteúdo relativo d'água ou potencial hídrico foliar, podem ser empregados como indicadores das condições hídricas, podendo então ser usados isoladamente nas plantas de amendoim, gergelim e mamona.

O estudo da correlação entre variáveis fisiológicas é tido como ferramenta auxiliar para identificação de funções correlacionadas. A propósito, vários autores utilizaram tal ferramenta estatística na análise de comportamento em plantas submetidas à deficiência hídrica. Correlações significativas foram constatadas por Nogueira et al. (1998), para $\Psi_{folha} \times R_s$ (R_s : resistência estomática), $\Psi_{folha} \times E$, $\Psi_{folha} \times P$ (P : prolina; $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS) em amendoim; Anyia et al. (2004), para taxa fotossintética e taxa transpiratória em feijão-de-corda; Siddique et al. (1999), para $A_n \times g_s$ de 0,62 e $A_n \times g_m$ de 0,99 (condutância do mesófilo) em cultivares de trigo; Pedreira et al. (2003) para condutância foliar e a taxa fotossíntese em milho. Guimarães et al. (2006) constataram que a temperatura do dossel correlacionou-se significativamente com o potencial da água nas folhas e, devido a sua medição ser rápida e não-destrutiva, mostrou tratar-se de uma técnica útil no processo de seleção de genótipos de feijoeiro comum para regiões sujeitas a deficiência hídrica.

Tabela 15. Coeficiente de correlação (r) entre as variáveis de relações hídricas das culturas de amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Variáveis | Ψ_f | g_s | E | C_i | T_f/T_{ar} |
|-----------------|----------|-------|-------|--------|--------------|
| Amendoim | | | | | |
| CRA | 0,98* | | | | |
| A_n | | 0,85* | 0,94* | 0,17 | -0,72* |
| g_s | | | 0,82* | 0,41* | -0,78* |
| E | | | - | 0,15 | -0,72* |
| Gergelim | | | | | |
| CRA | 0,94* | | | | |
| A_n | | 0,82* | 0,88* | -0,52* | -0,68* |
| g_s | | | 0,84* | -0,16 | -0,70* |
| E | | | - | -0,35 | -0,77* |
| Mamona | | | | | |
| CRA | 0,98* | | | | |
| A_n | | 0,70* | 0,90* | 0,16 | -0,45* |
| g_s | | | 0,68* | 0,51* | -0,57* |
| E | | | - | 0,20 | -0,52* |

*significativo ao nível de 5%, pelo teste F. A_n : taxa fotossintética; T_{ar} : temperatura do ar; T_f : temperatura da folha; g_s : condutância estomática; E: transpiração; C_i : concentração interna de CO_2 ; Ψ_{folha} : Potencial hídrico foliar e CRA: conteúdo relativo d'água.

4.5. Crescimento

4.5.1. Número de folhas, Área foliar, Área foliar específica e Razão de área foliar.

A deficiência hídrica gerou resposta estatística diferenciada entre as cultivares avaliadas no número de folhas e área foliar (Tabela 16). Ocorreu interação para cultivar e regime hídrico para a variável número de folhas, apenas em amendoim.

Os resultados determinados para área foliar mostraram reduções marcantes, na ordem de 37,77%; 40,48% e 67,51%, nas culturas de amendoim, gergelim e mamona sob deficiência hídrica (Tabela 17). Tal redução constitui um mecanismo morfológico de defesa, pois a redução da interface entre a planta e a atmosfera reduz a transpiração, o que é positivo, porém também reduz a assimilação fotossintética, o que é negativo para a produção. Com área foliar menor, há diminuição na transpiração, conservando água no solo por período mais longo (TAIZ; ZEIGER, 2004). Segundo Kramer (1963), existe uma estreita relação entre a disponibilidade de água e a área foliar, sendo menor o crescimento foliar com a redução da umidade do solo, sugerindo uma grande sensibilidade desta variável à deficiência hídrica.

As culturas do gergelim e da mamona apresentaram acentuada senescência foliar, outro fator que contribuiu para a redução da área foliar. O comportamento das plantas de mamona e do amendoim foi semelhante, pois quando expostas a deficiência hídrica apresentavam-se murchas, enquanto o gergelim, além da visível redução na turgescência, também apresentou enrolamento do limbo foliar. Vale ressaltar que a redução na área foliar foi maior que a do número de folhas no amendoim, gergelim e mamona, indicando que a restrição causada pela deficiência hídrica foi maior na expansão que na divisão celular. Essa resposta está em conformidade com as encontrados em amendoim (SILVA, 1986; SÁ SOBRINHO, 1988) e em feijão-de-corda (ROCHA, 2001). Hsaio (1973) relata que o alongamento celular é mais sensível à deficiência hídrica do que a divisão celular.

A área foliar específica (AFE) não diferiu em amendoim e gergelim para cultivar e regime hídrico, entretanto em mamona ocorreu o inverso (Tabela 16). A cultivar Mirante foi superior em 6,23%, quando comparada à Nordestina, denotando um maior incremento na capacidade assimilatória. Na mamona, a área foliar específica teve incremento na ordem de 19,39 % no regime hídrico seco confrontado ao úmido (Tabela 17). Com relação a esta variável, as respostas ocorrem de forma diferenciada entre espécies expostas às condições de deficiência hídrica. Lopes et al. (1986) e Costa et al. (1989) reportam incrementos da área foliar específica nas plantas de feijão comum sob condições de insuficiência hídrica do solo.

Os autores comentam que essa resposta foi derivada de reduções mais drásticas no acúmulo de matéria seca das folhas que as reduções na taxa de expansão foliar. Rocha (2001) estudando feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica não detectou reduções significativas na área foliar específica, sugerindo que a capacidade de acúmulo de matéria seca por unidade de área foliar não foi afetada na fase de crescimento vegetativo. Paz et al. (2003), constataram em *Barleria lupulina* Lindl, a redução da área foliar específica sob diminuição dos níveis de água no solo, expressando que as reduções na taxa de expansão foliar foram maiores que o acúmulo de matéria seca.

Benincasa (1988) relata que a razão de área foliar (RAF), expressa a área foliar útil para a fotossíntese, constituindo-se num importante índice morfofisiológico. No presente estudo, não foi detectada alteração significativa na razão de área foliar entre as cultivares de amendoim e mamona, enquanto no gergelim houve variação significativa (Tabela 16). Entretanto, no gergelim, a cultivar G₄ mostrou-se superior a G₃, sugerindo uma maior capacidade de acúmulo em matéria seca foliar em relação ao acúmulo de matéria seca total. O regime hídrico não afetou essa variável para o amendoim. A deficiência hídrica reduziu a razão de área foliar em 9,55 % para o gergelim, e aumentou na mamona em 23,88 % (Tabela 17). Esse aumento ocorrido na mamona decorre de uma maior redução na matéria seca total da planta (74,02%) que na área foliar (67,51%). Em outras palavras, a mamona priorizou a manutenção do tamanho do seu sistema assimilatório em detrimento ao acúmulo de matéria seca total da planta. Paz et al. (2003), estudaram *Barleria lupulina* Lindl, e constataram redução na razão de área foliar sob diminuição dos níveis de água no solo. Por outro lado Aguiar Netto et al. (1995) concluíram que a redução do potencial de água no solo não interferiu na razão de área foliar, em ervilha. Esse tipo de resposta provavelmente ocorre devido a declínios de magnitude semelhante na área foliar e no acúmulo de matéria seca total da planta (COSTA et al., 1989).

Tabela 16. Quadrado médio, número de folhas, área foliar, área foliar específica e razão de área foliar, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | |
|--|----|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| Número de folhas | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 1656,20 * | 42,05 * | 6,050 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 9245,00 ** | 296,450 ** | 61,25 ** |
| Interação C x RH | 1 | 3645,00** | 1,25 ^{NS} | 0,450 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 4848,73 | 113,25 | 22,58 |
| Resíduo | 16 | 301,55 | 8,05 | 3,32 |
| CV (%) | | 18,7 | 11,4 | 19,3 |
| Área foliar (cm²) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 175.968,80 ^{NS} | 636.531,20 * | 8.080,20 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 3.882.567,20 * | 3.732.480,00 ** | 7.780.033,80 ** |
| Interação C x RH | 1 | 14.580,00 ^{NS} | 170.755,20 ^{NS} | 198.005,00 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 1.357.705,33 | 1.513.255,46 | 2.662.039,66 |
| Resíduo | 16 | 511.658,80 | 103.715,60 | 245.567,80 |
| CV (%) | | 37,9 | 18,9 | 40,4 |
| Área foliar específica (cm². g⁻¹) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 108,4196 ^{NS} | 120,5601 ^{NS} | 1.156,2490 * |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 761,8223 ^{NS} | 91,2756 ^{NS} | 8733,6504 ** |
| Interação C x RH | 1 | 2555,0205 ^{NS} | 879,5093 ^{NS} | 55,8615 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 1141,7542 | 363,7817 | 33.115,2537 |
| Resíduo | 16 | 2824,8456 | 1087,1186 | 207,2914 |
| CV (%) | | 18,2 | 13,3 | 6,1 |
| Razão de área foliar (cm². g⁻¹) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 1.038,4134 ^{NS} | 1.925,4480 ** | 87,2659 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 1.230,9746 ^{NS} | 444,6717 * | 1264,0023 ** |
| Interação C x RH | 1 | 692,1232 ^{NS} | 0,0023 ^{NS} | 62,8670 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 987,1704 | 790,0407 | 471,3784 |
| Resíduo | 16 | 484,7448 | 63,9807 | 108,2663 |
| CV (%) | | 22,0 | 8,5 | 20,3 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 17. Número de folhas, área foliar, área foliar específica e razão de área foliar, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica (2plantas/ tubo PVC).

| | N ^o folha | AF (cm ²) | AFE (cm ² . g ⁻¹) | RAF (cm ² . g ⁻¹) |
|---------------------|----------------------|-----------------------|--|--|
| Amendoim | | | | |
| | | | Cultivar | |
| PI-165317 | 83,4 b | 1792,8 a | 289,6 a | 92,1 a |
| 57422 | 101,6 a | 1980,4 a | 294,3 a | 106,8a |
| | | | Regime Hídrico | |
| Controle | 114,0 a | 2327,2 a | 298,2 a | 107,1 a |
| Estressado | 71,0 b | 1446,0 b | 285,8 a | 91,7 a |
| Gergelim | | | | |
| | | | Cultivar | |
| CNPA-G ₃ | 23,4 b | 1523,6 b | 243,6 a | 84,1 b |
| CNPA-G ₄ | 26,3 a | 1880,4 a | 248,5 a | 103,7 a |
| | | | Regime Hídrico | |
| Controle | 28,7 a | 2134,0 a | 248,1 a | 98,6 a |
| Estressado | 21,0 b | 1270,0 b | 243,9 a | 89,2 b |
| Mamona | | | | |
| | | | Cultivar | |
| Mirante | 10,0 a | 1203,0 a | 244,0 a | 76,6 a |
| Nordestina | 8,9 a | 1244,0 a | 228,8 b | 72,4 a |
| | | | Regime Hídrico | |
| Controle | 11,2 a | 1847,6 a | 215,5 b | 66,5 b |
| Estressado | 7,7 b | 600,2 b | 257,3 a | 82,4 a |

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5.2. Matéria seca da parte aérea, diâmetro do coleto e altura da planta.

Não houve diferença estatística para matéria seca da parte aérea entre as cultivares das espécies estudadas. O regime hídrico gerou declínio na matéria seca da parte aérea, diâmetro do coleto e altura da planta, nas cultivares das espécies estudadas, evidenciando os efeitos negativos da deficiência hídrica sobre o crescimento da planta (Tabelas 18). Houve interação para cultivares e regime hídrico apenas no diâmetro do coleto da mamona. Tal comportamento indica que as alterações sofridas para efeito de cultivar e regime hídrico tiveram magnitudes diferenciadas, sendo o regime hídrico o maior contribuinte para ocorrência da interação (Tabela 19). Vale salientar que para a variável diâmetro do coleto, o efeito de cultivar em amendoim não apresentou diferença pelo teste F. Por outro lado, na comparação de médias pelo teste de Tukey, ocorreu diferença estatística. Esse tipo de resposta é possível em função da base de cálculo diferenciada desses testes (COSTA, 2003).

A deficiência hídrica reduziu o acúmulo de matéria seca da parte aérea de forma mais intensa na mamona (4 vezes), que no amendoim e gergelim (2 vezes) (Tabela 19). Essa resposta ocorreu provavelmente em função da diminuição na área foliar e da taxa de assimilação fotossintética das plantas submetidas aos ciclos de deficiência hídrica, já que as mesmas não tiveram tempo, após a reidratação, para reestabelecer o ritmo de crescimento da parte aérea ao nível das plantas irrigadas. Reduções no acúmulo de matéria seca da parte aérea em virtude da deficiência hídrica foram reveladas por Sá Sobrinho (1988), Santos (1989) e Araújo e Ferreira (1997) em amendoim, Costa (1995), Rocha (2001) e Matsui e Singh (2003) em feijão-de-corda, Pimentel e Perez (2000) em feijão comum, e Costa (2000) em milho.

Foram verificadas reduções no diâmetro do caule e altura da planta na seguinte ordem de sensibilidade à deficiência hídrica do solo: maior em amendoim, seguido de gergelim e mamona (Tabela 19). Tais resultados de redução corroboram com os de Barros Junior et al. (2004), que pesquisaram os efeitos de níveis de água disponível e constataram reduções significativas na altura de planta e diâmetro do caule da mamona. Correia e Nogueira (2004) demonstraram reduções na altura da planta e número de folhas de amendoim sob deficiência hídrica. Kirnak et al. (2001) observaram em berinjela submetida ao estresse hídrico de 40 % da água disponível, reduções nas variáveis altura de planta, diâmetro do caule e na taxa relativa de expansão foliar na ordem de 46 %; 51% e 75 %, respectivamente.

Tabela 18. Quadro médio, da matéria seca da parte área, diâmetro do coleto e altura de planta, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | GL | Quadro Médio | | |
|--------------------------------|----|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| MSPA (g) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 10,9342 ^{NS} | 1,6274 ^{NS} | 2,1432 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 925,4529 ^{**} | 433,2595 ^{**} | 905,7369 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 40,1861 ^{NS} | 2,6945 ^{NS} | 7,9771 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 325,5244 | 145,8604 | 305,2857 |
| Resíduo | 16 | 31,8725 | 9,0108 | 20,9655 |
| CV (%) | | 31,18 | 21,08 | 41,37 |
| Diâmetro do coleto (cm) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0125 ^{NS} | 0,0076 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,0245 [*] | 0,6516 ^{**} | 0,6845 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0005 ^{NS} | 0,0174 ^{NS} | 0,1445 [*] |
| Tratamento | 3 | 0,0125 | 0,2255 | 0,2763 |
| Resíduo | 16 | 0,0046 | 0,0083 | 0,0268 |
| CV (%) | | 12,62 | 9,09 | 20,21 |
| Altura da planta (cm) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 38,9205 ^{**} | 470,450 ^{**} | 137,3928 [*] |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 20,8080 [*] | 2.357,489 ^{**} | 1129,8051 ^{**} |
| Interação C x RH | 1 | 0,2642 ^{NS} | 116.644,00 ^{NS} | 27,4248 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 20,3097 | 981,527 | 431,5409 |
| Resíduo | 16 | 4,5437 | 48,8735 | 25,8595 |
| CV (%) | | 16,73 | 15,1984 | 19,9296 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 19. Matéria seca da parte área, diâmetro do coleto e altura de planta, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica (2 plantas/ tubo PVC).

| | MSPA | Φ_{coleta} (cm) | altura (cm) |
|---------------------|-------------|---|--------------------|
| Amendoim | | | |
| | | Cultivar | |
| PI-165317 | 17,36 a | 0,51 a | 11,13 a |
| 57422 | 18,84 a | 0,56 b | 14,13 b |
| | | Regime Hídrico | |
| Controle | 24,90 a | 0,57 a | 13,76 a |
| Estressado | 11,30 b | 0,50 b | 11,72 b |
| Gergelim | | | |
| | | Cultivar | |
| CNPA-G ₃ | 13,95 a | 0,98 a | 50,84 a |
| CNPA-G ₄ | 14,52 a | 1,02 a | 41,41 b |
| | | Regime Hídrico | |
| Controle | 18,89 a | 1,18 a | 56,85 a |
| Estressado | 9,52 b | 0,82 b | 35,14 b |
| Mamona | | | |
| | | Cultivar | |
| Mirante | 10,73 a | 0,81 a | 28,14 a |
| Nordestina | 11,39 a | 0,81 a | 22,89 b |
| | | Regime Hídrico | |
| Controle | 17,79 a | 0,99 a | 33,03 a |
| Estressado | 4,33 b | 0,62 b | 18,00 b |

¹ Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5.3. Matéria seca, volume e peso específico de raiz

Foram constatados efeitos significativos do regime hídrico nas três culturas estudadas para matéria seca, volume e peso específico das raízes. Ocorreu interação para efeito de cultivar e de regime hídrico apenas na mamona nos parâmetros matéria seca, volume de raiz, denotando que, as alterações sofridas tiveram magnitudes diferenciadas, atribuídas em maior parte ao regime hídrico (Tabela 20).

A mamona apresentou maior quantidade de matéria seca radicular, seguida do gergelim e amendoim, enquanto a densidade radicular no gergelim foi inferior ao amendoim e mamona (Tabela 21). A matéria seca radicular foi bastante reduzida nas condições de estresse hídrico nas três espécies. 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.

O peso específico radicular foi reduzido nas três culturas, provavelmente em virtude de reduções menos drásticas no volume de raiz do que no acúmulo de matéria seca. Rocha (2001) estudou o comportamento do feijão-de-corda sob deficiência hídrica e relatou que os aumentos no peso específico radicular foram derivados de reduções mais drásticas no volume das raízes que no acúmulo de matéria seca. A queda mais rápida do volume deve refletir o recuo na pressão de turgescência, primeiro componente do ψ_f a ser reduzido com o advento do estresse.

Beltrão et al. (2003) concluíram que a mamona é muito sensível ao estresse hídrico na sua fase inicial do desenvolvimento e do crescimento, com quatro a cinco folhas, em especial se o estresse for mais demorado, como por exemplo, de seis dias. Sá Sobrinho (1988) estudou dez cultivares de amendoim submetidos à deficiência hídrica e verificou reduções maiores no volume radicular, e menores no comprimento e matéria seca, com a formação de raízes mais finas e densas. Wan et al. (1993) pesquisaram o comportamento de *Gutierrezia sarothrac* (Pursh) Britt e Rusby, sob deficiência hídrica, e constataram reduções na densidade de crescimento radicular, indicando que ocorreu menor proliferação das raízes. Pimentel et al. (1999) em feijão-comum, Rocha (2001) em caupi, Salim et al. (1965) em trigo, aveia e cevada, reportam efeito depressivo no volume radicular das plantas expostas a insuficiência hídrica do solo. Comportamento desta natureza foi constatado em amendoim, gergelim e mamona sob deficiência hídrica.

Tabela 20. Quadro médio, matéria seca da raiz (MSR), volume (VR) e peso específico da raiz, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | G.L. | Quadro Médio | | |
|---|------|------------------------|------------------------|----------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| MSR (g) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,2357 ^{NS} | 2,3502 * | 3,0179 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 6,4695 ** | 14,2265 ** | 221,8113 ** |
| Interação C x RH | 1 | 1,1477 ^{NS} | 0,0035 ^{NS} | 6,7501 * |
| Tratamento | 3 | 2,6176 | 5,5267 | 77,1931 |
| Resíduo | 16 | 0,5087 | 0,5161 | 0,9600 |
| CV (%) | | 31,18 | 21,08 | 41,37 |
| VR (cm³) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 14,4500 ^{NS} | 793,8000 ^{NS} | 708,050 * |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 551,2500 * | 3025,8000 ** | 14526,0500 ** |
| Interação C x RH | 1 | 297,9167 ^{NS} | 3,2000 ^{NS} | 708,0500 * |
| Tratamento | 3 | 297,9167 | 1274,2667 | 5314,0500 |
| Resíduo | 16 | 95,1250 | 185,5000 | 151,9250 |
| CV (%) | | 23,64 | 17,82 | 20,35 |
| Peso específico (g/cm³) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,0000 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} | 0,0003 ** |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 0,0003 ^{NS} | 0,0001 ** | 0,0032 ^{NS} |
| Interação C x RH | 1 | 0,0001 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} | 0,0000 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 0,0001 | 0,0000 | 0,0012 |
| Resíduo | 16 | 0,000 | 0,0000 | 0,0002 |
| CV (%) | | 6,26 | 2,74 | 15,44 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 21. Matéria seca da raiz (**MSR**), volume (**VR**) e peso específico da raiz (**ρ_R**), em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica (2 plantas/ tubo PVC).

| | MSR (g) | VR (cm³) | ρ_R (g/cm³) |
|---------------------|----------------|----------------------------|---|
| Amendoim | | | |
| | | Cultivar | |
| PI-165317 | 3,01 a | 40,40 a | 0,076 a |
| 57422 | 3,28 a | 42,10 a | 0,077 a |
| | | Regime Hídrico | |
| Controle | 3,74 a | 46,50 a | 0,080 a |
| Estressado | 2,61 b | 36,00 b | 0,073 b |
| Gergelim | | | |
| | | Cultivar | |
| CNPA-G ₃ | 4,53 a | 82,70 a | 0,054 a |
| CNPA-G ₄ | 3,84 b | 70,10 a | 0,054 a |
| | | Regime Hídrico | |
| Controle | 5,03 a | 88,70 a | 0,057 a |
| Estressado | 3,34 b | 64,10 b | 0,051 b |
| Mamona | | | |
| | | Cultivar | |
| Mirante | 5,66 a | 54,60 b | 0,099 a |
| Nordestina | 6,44 a | 66,50 a | 0,092 b |
| | | Regime Hídrico | |
| Controle | 9,38 a | 87,50 a | 0,108 a |
| Estressado | 2,72 b | 33,60 b | 0,083 b |

[†] Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.5.4. Relação matéria seca da raiz e parte aérea, relação matéria seca raiz e total, matéria seca total.

Observou-se efeito diferenciado nas relações matéria seca raiz / matéria seca da parte aérea (MSR/MSPA), matéria seca raiz / matéria seca total (MSR/MST) e na matéria seca total (MST), para regime hídrico, nas plantas de amendoim e gergelim. Enquanto a mamona apresentou resposta diferenciada apenas na matéria seca total (Tabela 22). Não ocorreu interação entre o efeito cultivar e regime hídrico nas variáveis MSR/MSPA, MSR/MST e MST, expressando que tais reduções tiveram a mesma magnitude nas três culturas (Tabela 22).

A deficiência hídrica casou incremento significativo nas relações matéria seca raiz / matéria seca da parte aérea e matéria seca raiz / matéria seca total nas culturas do amendoim (46,4 e 38,2 %) e gergelim (27,6 e 20,8 %) (Tabela 23). A matéria seca da parte aérea e a matéria seca total tiveram reduções maiores que as constatadas na matéria seca da raiz, de modo a determinar aumentos nas relações MSR/MSPA e MSR/MST. O amendoim comportou-se como a cultura que apresentou maior variação na relação MSR/MST em resposta ao estresse hídrico. A mamona não apresentou resposta diferenciada nas relações de MSR/MSPA e MSR/MST. Independente do regime hídrico a mamona apresentou maior relação MSR/MST, quando comparada ao gergelim e amendoim. Talvez por apresentar em condições normais maior proporção de MSR na MST, a mamona não tenha desenvolvido mecanismos de adaptação ou reajuste no sistema radicular.

A relação entre matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea expressa um balanço funcional entre a taxa fotossintética e a absorção de água pelas raízes, que em condições tidas como normais apresenta certo equilíbrio (TAIZ; ZEIGER, 2004). Segundo Goss (1973), a relação raiz / parte aérea é uma correlação de desenvolvimento, expressando o fato de que o crescimento radicular pode afetar o da parte aérea e vice-versa. Sob condições de estresse hídrico, geralmente aumenta a relação entre matéria seca da raiz e matéria seca da parte aérea. Esse aumento pode ser explicado pela afirmativa de Boyer (1970), relatando que as reduções do crescimento foliar ocorrem antes de reduzir a taxa fotossintética, resultando em excesso de carboidratos para as raízes. Contudo há relatos contraditórios nesta relação sob condições deficiência hídrica. Os resultados indicaram aumento nessa relação na cultura do amendoim e gergelim, e inalteração na cultura da mamona. Távora e Melo (1991), trabalharam com cultivares de amendoim submetidos a ciclos de deficiência hídrica, e não encontraram respostas diferenciadas para esta variável, sendo provável que esse tipo de

resposta tenha ocorrido em função do volume limitado de solo onde as raízes se encontravam, prejudicando assim seu desenvolvimento (COSTA, 1995). Respostas diferenciadas foram determinadas por Silva (1986), Awal e Ikeda (2002) e Correia e Nogueira (2004) em amendoim, Costa et al. (1997), Matsui e Singh (2003) em caupi, Ferreira et al. (1979) em algodão, e Kirnak et al. (2001) em berinjela, Adda et al. (2005) em trigo, Sahnoune et al. (2004) em cevada e Grzesiak et al. (1999) em milho, resultando em aumento desta relação, favorecendo assim a distribuição da matéria seca para as raízes.

Os valores encontrados para matéria seca total (MST) foram afetados significativamente pela deficiência hídrica na cultura do amendoim, gergelim e mamona (Tabela 22). As reduções ocorridas foram da ordem de 50 % no amendoim e gergelim, e de 75% na mamona, quando se compara o regime seco ao úmido (Tabela 23). A diminuição da matéria seca total pode ter sido causada pelo fechamento dos estômatos, resultando em declínio na taxa fotossintética, hipótese confirmada por Távora e Melo (1991), Wright et al. (1994) em amendoim, Farah (1981) em fava, Costa (1995), Rocha (2001) e Matsui e Singh (2003) em feijão-de-corda.

Tabela 22. Quadro médio, relação matéria seca da raiz e parte aérea, relação matéria seca raiz e total matéria seca total, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica.

| Fonte de variação | GL | Quadrado Médio | | |
|---------------------|----|-----------------------|----------------------|------------------------|
| | | Amendoim | Gergelim | Mamona |
| MSR/MSPA (%) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,4173 ^{NS} | 191,5496 ** | 35,9308 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 272,6837 ** | 284,7483 ** | 220,4015 ^{NS} |
| Interação C x RH | 1 | 0,5554 ^{NS} | 2,9791 ^{NS} | 54,3477 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 91,2188 | 159,7590 | 103,5600 |
| Resíduo | 16 | 15,1931 | 20,2452 | 201,9294 |
| CV (%) | | 19,8 | 14,5 | 23,5 |
| MSR/MST(%) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 0,2326 ^{NS} | 63,0445 ** | 4,4058 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 135,9238 ** | 98,4127 ** | 48,7375 ^{NS} |
| Interação C x RH | 1 | 0,2652 ^{NS} | 0,4648 ^{NS} | 6,2955 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 45,4739 | 53,9740 | 19,8130 |
| Resíduo | 16 | 7,7913 | 6,7552 | 31,7347 |
| CV (%) | | 17,1 | 11,0 | 15,8 |
| MST (g) | | | | |
| Cultivar (C) | 1 | 14,3804 ^{NS} | 1,6274 ^{NS} | 10,2474 ^{NS} |
| Regime hídrico (RH) | 1 | 1086,6770 ** | 433,2595 ** | 2023,9915 ** |
| Interação C x RH | 1 | 54,9163 ^{NS} | 2,6945 ^{NS} | 29,4031 ^{NS} |
| Tratamento | 3 | 385,3246 | 145,8604 | 687,8807 |
| Resíduo | 16 | 36,0394 | 9,0108 | 25,9499 |
| CV (%) | | 28,2 | 21,0 | 29,7 |

*Significativo ao nível de 5% , **significativo ao nível de 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Tabela 23. Relação matéria seca da parte aérea e raiz, relação matéria seca raiz e total, matéria seca total, em amendoim, gergelim e mamona, submetidos a ciclos de deficiência hídrica (2 plantas/ tubo PVC).

| | MSR/MSPA (%) | MSR/MST(%) | MST |
|---------------------|--------------|-------------------|----------|
| Amendoim | | | |
| | | Cultivar | |
| PI-165317 | 19,45 a | 16,13 a | 20,44 a |
| 57422 | 19,74 a | 16,34 a | 22,13 a |
| | | Tratamento | |
| Controle | 15,91 b | 13,63 b | 28,65 a |
| Estressado | 23,29 a | 18,84 a | 13,912 b |
| Gergelim | | | |
| | | Cultivar | |
| CNPA-G ₃ | 34,12 a | 28,28 a | 13,95 a |
| CNPA-G ₄ | 27,93 b | 21,73 b | 14,52 a |
| | | Tratamento | |
| Controle | 27,25 b | 21,28 b | 18,89 a |
| Estressado | 34,80 a | 25,74 a | 9,58 b |
| Mamona | | | |
| | | Cultivar | |
| Mirante | 59,12 a | 36,77 a | 16,40 a |
| Nordestina | 61,80 a | 37,71 a | 17,83 a |
| | | Tratamento | |
| Controle | 57,14 a | 35,78 a | 27,18 a |
| Estressado | 63,78 a | 38,80 a | 7,06 b |

[†] Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.6. Estratificação do sistema radicular

As três espécies avaliadas apresentam em comum a presença do sistema radicular pivotante. A maior fração do sistema radicular foi encontrada de 0 a 25 cm de profundidade do solo, independente de cultivar, espécie ou regime hídrico empregado (Tabela 24). A distribuição radicular do amendoim foi menor no primeiro estrato e maior no último estrato de solo para o regime hídrico seco, quando confrontado ao úmido, sugerindo um investimento gradual em profundidade. Estudos desenvolvidos por Annerose (1990), demonstraram que o sistema radicular de cultivares de amendoim do grupo Virgínia mostrou-se mais vigoroso que o das cultivares do grupo Spanish, contrariando os resultados obtidos no presente estudo. O autor relata que a redução do ciclo das cvs do grupo Virgínia reduz o vigor do crescimento de suas raízes. A cv 57422 com ciclo de 105 dias foi menos vigorosa que as demais estudadas com ciclos de 110 e 120 dias. No presente estudo, a cv. PI-165317 do grupo Spanish e ciclo de 90 dias apresentou vigor semelhante ao da cv 57422.

As plantas de gergelim na condição seca e úmida apresentaram média de 60,84 % e 59,84 % na primeira camada de solo. Na última camada o resultado foi revertido com o regime úmido e seco apresentando, respectivamente 17,79 % e 12,00 %. A cultivar G₃ teve distribuição percentual de matéria radicular superior ao da cultivar G₄ no último estrato de solo, mostrando uma tendência ao aprofundamento das raízes.

A mamona apresentou média de 61,34 % e 59,12 % de raiz, sob deficiência hídrica e irrigada na primeira camada de solo ao passo que na última foram de 16,23 % e 18,00 %. A cultivar Nordestina investiu mais em matéria de raiz de 0 a 25 cm e menos de 75 a 100 cm. A cultivar Mirante 10 teve comportamento inverso. Sob condições de seca a cultivar Mirante 10, provavelmente toleraria um período mais prolongado de estiagem.

Para Nogueira et al. (1998), a planta de amendoim parece ter habilidade genética para aprofundar seu sistema radicular e extrair água de camadas mais distantes da superfície, quando cultivado em solos apropriados, podendo adiar o dessecamento durante a seca. Outros pesquisadores reportam que o aprofundamento do sistema radicular pode ser caracterizado como mecanismo de adaptação nas condições de estresse hídrico, em determinadas espécies (KRAMER, 1963; GOODY et al., 1978; MARHART, 1985; DIAS FILHO 1995; BRAGA et al. 1999; HUANG; GAO, 2000). Hurd (1968) propôs que a distribuição do sistema radicular é um dos caracteres indicadores que podem conferir adaptação das plantas a seca.

Vários resultados de pesquisas em plantas cultivadas reportam que as maiores percentagens de matéria seca radicular estão concentradas na camada de 0-20 cm de solo (camada arável) independentemente do regime hídrico aplicado. Desta forma, os dados com o amendoim, gergelim e mamona sob deficiência hídrica estão em conformidade com os da literatura. Estudos conduzidos por Rocha (2001) e Costa et al. (1997) em feijão-de-corda, Sá Sobrinho, (1988) em amendoim, sob insuficiência d'água no solo, constataram que o sistema radicular foi superficial para regime irrigado e seco. Os mesmos autores comentam que houve aprofundamento do sistema radicular do feijão-de-corda e amendoim, respectivamente. Ao passo que, Espinoza (1982) em soja e Bisbal e Rincón (1997) em gergelim, constataram que a maior concentração de raízes ocorreu na camada superficial.

Tabela 24. Distribuição da matéria seca de raiz, por estratos de solo (25cm) das cultivares de amendoim, gergelim e mamona, submetidas a ciclos de deficiência hídrica (2 plantas/ tubo PVC).

| | 0-25 cm | | 25-50 cm | | 50-75 cm | | 75-100 cm | | |
|---------------------|---------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|--|
| | MS | % | MS | % | MS | % | MS | % | |
| Amendoim | | | | | | | | | |
| PI-165317-I | 1,96 | 57,65 | 0,42 | 12,35 | 0,37 | 10,88 | 0,65 | 19,12 | |
| PI-165317-E | 1,46 | 53,28 | 0,34 | 12,41 | 0,26 | 9,50 | 0,68 | 24,81 | |
| 57422-I | 2,00 | 60,98 | 0,36 | 10,97 | 0,29 | 8,84 | 0,63 | 19,21 | |
| 57422-E | 1,38 | 55,65 | 0,34 | 13,70 | 0,21 | 8,47 | 0,55 | 22,18 | |
| Gergelim | | | | | | | | | |
| G ₃ -I* | 3,20 | 59,70 | 0,69 | 12,87 | 0,35 | 6,53 | 1,12 | 20,90 | |
| G ₃ -E** | 2,22 | 60,00 | 0,69 | 18,65 | 0,36 | 9,73 | 0,43 | 11,62 | |
| G ₄ -I | 2,79 | 64,29 | 0,56 | 12,90 | 0,30 | 6,91 | 0,69 | 15,90 | |
| G ₄ -E | 1,86 | 62,21 | 0,52 | 17,40 | 0,24 | 8,02 | 0,37 | 12,37 | |
| Mamona | | | | | | | | | |
| Mirante 10-I | 5,02 | 59,70 | 1,03 | 12,24 | 0,82 | 9,75 | 1,54 | 18,31 | |
| Mirante 10-E | 1,62 | 55,48 | 0,44 | 15,06 | 0,27 | 9,25 | 0,59 | 20,21 | |
| Nordestina-I | 6,06 | 58,55 | 1,34 | 12,95 | 1,12 | 10,82 | 1,83 | 17,68 | |
| Nordestina-E | 1,70 | 66,93 | 0,27 | 10,63 | 0,26 | 10,23 | 0,31 | 12,21 | |

* C: planta controle irrigado diariamente, ** E: planta submetida a ciclos de deficiência hídrica.

5. CONCLUSÕES

- A mamona manteve maior nível de hidratação dos seus tecidos, quando exposta a ciclos de deficiência hídrica, seguida do gergelim e amendoim.
- As condições hídricas e as trocas gasosas foram reduzidas pela deficiência hídrica nas plantas de amendoim, gergelim e mamona.
- A área foliar teve reduções maiores que o número de folhas no amendoim, gergelim e mamona em resposta a deficiência hídrica.
- Na cultura do gergelim o uso eficiente de água foi reduzido em resposta à deficiência hídrica. Enquanto para o amendoim e mamona este índice permaneceu inalterado independentemente do regime hídrico.
- A deficiência hídrica afetou com maior intensidade o acúmulo de matéria seca da parte aérea, quando comparado ao do sistema radicular nas culturas do amendoim, gergelim e mamona.
- A acumulação de matéria seca total foi mais afetada na mamona, seguida do amendoim e gergelim, em resposta à deficiência hídrica.
- Sob condições de deficiência hídrica os índices de crescimento AFE e RAF, foram superiores aos obtidos na condição irrigada na mamona, indicando maior capacidade da manutenção da expansão foliar em detrimento ao acúmulo de matéria seca.
- A deficiência hídrica, aplicada no período vegetativo, causou reduções no número de folhas, área foliar, altura da planta, diâmetro do coleto, volume radicular, peso específico radicular, no amendoim, gergelim e mamona.
- As três espécies estudadas concentraram a maior proporção de raízes no estrato de 0-25 cm de solo independentemente do regime hídrico aplicado. O amendoim mostrou maior habilidade no aprofundamento do sistema radicular, seguido do gergelim e da mamona, em resposta à deficiência hídrica.

- A cultivar CNPA-G₃ mostrou-se comportamento superior ao da cultivar CNPA-G₄ nas relações MRS/MSPA e MRS/MST, sugerindo que nas condições de deficiência hídrica teria, menores danos no acúmulo de matéria seca.
- Foram verificados incrementos nas relações MRS/MSPA e MRS/MST nas culturas do amendoim e gergelim em resposta a deficiência hídrica. Enquanto na mamona tais índices permaneceram inalterados.
- De uma forma geral, a mamona foi a mais prejudicada pela deficiência hídrica, seguida do gergelim e do amendoim.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDA, A; SAHNOUNE, M; KAID-HARCH, M; MERAH, O. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. **Comptes Rendus Biologies**, 328: 918–927, 2005.

AGUIAR NETTO, A. O; RODRIGUES. J. D.; BASTOS, E. A; ONO, O. E. Desenvolvimento de plantas de ervilha (*Pisum sativum* L.), submetidas à diferentes potenciais da água no solo: Índices fisiológicos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 52(3): 521-527, set./dez..1995.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba, 272p., 2002.

ANNEROSE, D.J.M. **Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas l'arachide (*Arachis hypogae* L.) cultivée au Sénégal**. Paris: Université PARIS VII, 1990, 298 f. (Tese de Doutorado).

ANYIA, A.O; HERZOG, H. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. **European Journal of Agronomy**, 20: 327-339, 2004.

ARAÚJO, W. F.; FERREIRA, L. G. R. Efeito do déficit hídrico durante diferentes estádios do amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.5, p.481-484, mai. 1997.

ATTEYA, A. M. Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, 29 (1–2), 63–76, 2003.

AWAL, M. A e IKEDA, T. Recovery strategy following the imposition of episodic soil moisture deficit in stands of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science** 188:185-192, 2002.

BABU, V. R.; RAO, D.V.M. Water stress adaptations in the groundnut (*Arachis hypogaea* L.) foliar characteristics and adaptations to moisture stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, 10 (1): 60-80, 1983.

BARROS JUNIOR, G.; GUERRA, H.O.C.; LACERDA, R.D de.; CAVALCANTI, M. L.F.; BARROS, A. D. de. Análise de crescimento da mamoneira submetida ao estresse hídrico. **I Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Sustentabilidade**, 23 a 26 nov, 2004, Campina Grande-PB.

BELTRÃO, M., E. N. Potencial da cultura do gergelim para a região Nordeste, em especial para o Estado da Bahia. **Bahia Agrícola**, v. 4, n. 2, nov., 2001.

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

BELTRÃO, N.E. DE M, ARAÚJO, A. E de. **Zoneamento Agrícola**. Campina Grande: Embrapa –CNPA, 2004, 23p. (Embrapa Algodão, Documentos 126).

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 42p., 1988.

BERENGENA, J. **Fundamentos del riego y del drenaje**: Necesidade de água y programación de riegos. Brasília: PRONI, 1987.170 p. (Curso de Especialização em Engenharia de Irrigação)

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

BHAGSARI, A. S.; BROWN, R.H; SCHEPERS, J. S. Efect of moisture stress on photosynthesis and some related physiological characteristics in peanut. **Crop Science**, 16: 712-5, 1976.

BIELENBERG, D. G.; MILLER, J.D.; BERG, V.S. Paraheliotropism in two *Phaseolus* species: combined effects of photon flux density and pulvinus temperature, and consequences for leaf gas exchange. **Environmental and Experimental Botany**, 49: 95-105, 2003.

BISBAL, E. C. de; RINCÓN, C. A. Efecto de ciclos de sequia en la extracción de agua por cultivares de ajonjolí en el periodo reproductivo. **Agronomía Tropical**, 47(2):141-160; 1997.

BLUM, A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In: Belhassen I (ed.) *Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological, and Molecular Biological Analysis*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, pp 57-70. ISBN 07923-4123-6, 1997.

BOYER, J. S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**, 46: 233-5, 1970.

BRAGA, M.B.; RAMOS, M. M.; GOMIDE, R. L. Influência de quatro frequências de irrigação na distribuição radicular, em três estádios de desenvolvimento da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca). **Irriga**, Botucatu, v.4, n.3, p.175-182, 1999.

CALBO, R.E.M.; MORAES, DE V.P.A.J. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 9(2): 117-123, 1997.

CAMACHO, R.; CARABALLO, D. Evaluation of morphological characteristics in venezuelan maize (*Zea mays* L.) genotypes under drought stress. **Scientia Agricola**, v.51, p.453-458, 1994.

CASCARDO, J. C. de M; OLIVEIRA, L. E. M. de; SOARES, A. M. Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 5: 31-34, 1993.

CHAVES, M.M. Effects of water stress on carbon assimilation. **Journal Experimental Botany**, 42:1-16, 1991.

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

COSTA, J. R. **Técnicas experimentais aplicadas às ciências agrárias**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 102 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 163).

COSTA, J. R, da. **Relações hídricas e variáveis morfológicas em cultivares de milho submetidas ao estresse hídrico**. 2000, 53 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

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.

COSTA, M. M. M. N.; TÁVORA, F. J. A. F; PINHO, J. L. N; MELO, F. I. O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.1, p.43-50, jan., 1997.

COSTA, R.C.L.; LOPES, N.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F. Crescimento e conversão da energia solar em feijão submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.12, p.1439-1450, 1989.

COSTA, R.C.L.; OLIVA, M.A.; LOPES, N.; BARROS, N.F. Efeito da água e do nitrogênio sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.12, p.1371-1379, 1988.

DENADAI, I.A.M.; KLAR A.E. Resistência à seca em quatro cultivares de trigo: parâmetros fisiológicos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.52, n.2, p.274-281, mai./ago.,1995

DIAS-FILHO, M. B. Root and shoot growth in response to soil drying in four amazonian weedy species. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 7(1):53-59, 1995.

DUBÉ, P.A.; STEVENSON, K.R.; THURTELL, G.W. Comparison between two inbred corn lines for diffusive resistances, photosynthesis and transpiration as a function of leaf water potential. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v.54, p.765-70, 1974.

DUNCAN, R.R E BALIGAR, V.C. **Genetics, breeding, and physiological mechanisms of nutrient use**. Duncan,R. R. e Baligar, V.C.(Ed.). Academic Press, San Diego, p.3-36, 1991.

EMBRAPA ALGODÃO (Campina Grande, PB). **BRS 149 Nordestina**: nova cultivar de mamona para o Nordeste brasileiro, 1999 (Folder).

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

ESPINOZA, W. Resposta de doze cultivares de soja ao déficit hídrico num latossolo vermelho-escuro de Cerrados do Distrito Federal. I - Rendimento, área foliar e desenvolvimento do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, 17(3): 447-58, 1982.

FARAH, S. M. N. An examination of the effects of water on leaf growth of crops of field beans (*Vicia faba* L.). I. Crop growth and yield . **The Journal of Agricultural Science**, Madison, v.96,p327-336, 1981.

FERNANDES, E. J. e TURCO, J. E. P. Determinação do índice de estresse hídrico da cultura de soja por termometria a infravermelho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.1, p.40-51, set. 1998.

FERRAROTTO, M. S. Proline accumulation in pigweed plants (*Amaranthus dubius* Mart, and *Amaranthus cruentus* L.) growing under water stress conditions. **Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)**, v.20, p.453-460, 2003.

FERREIRA, L. G. R.; DE SOUZA, J.G. e PRISCO. T. Effects of water deficit on proline accumulation and growth of two cotton genotypes of different drought resistance. **Z. Pflanzphysiol Band. S**, 189-199, 1979.

FISCHER, R. A.; TURNER, N. C. Plant productivity in the arid and semiarid zones. **Annual Review of Plant Physiology** (EE. UU), v.29, p.277-317, 1978.

GLEEN, D.M., SCORZA, R. BASSETT, C. Physiological and morphological traits associated with water use efficiency in the willow-leaf peach. **Hortscience.**, v.35,n.7, p.1241-43, 2000.

GOODY, O. P.; OLITTA, A.F. e GOODY, R. Irrigação do amendoim por sulcos de infiltração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.13, n.2, 83-91p., 1978.

GOSS, J. A. **Physiology of plants and their cells**. New York: Pergamon. p. 457, 1973.

GRZESIAK, S.; HURA, T.; GRZESIAK, M.T.; PIENSKOWSKI, S. The impact of limited soil moisture and waterlogging stress conditions on morphophysiological and anatomical roots traits in maize (*Zea mays* L.) hybrids of different drought tolerance. **Acta Physiology Plant**, 21: 305–315, 1999.

GUCCI, R.; MATÉRIAI, R.; XILOYANNIS, C. & FLORE, J. A. The effect of drought and vapour pressure deficit on gas exchange of young kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) vines. **Annals of Botany**, 77: 605-613, 1996.

GUIMARÃES, C. M.; BRUNINI, O. e STONE, L. F. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca I. Densidade e eficiência radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 31: 396-399, 1996.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.70–75, 2006.

HEBERT, Y., E. GUINGO, and O. LOUDET. The response of root/shoot partitioning and root morphology to light reduction in maize genotypes. **Crop Science**, 41: 363-371, 2001.

HOOGENBOOM, G.; HUCK, M.G.; PETERSON, C. M. Root growth of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.697-614, 1987.

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

HUANG, E. A.; GAO, H. Root physiological characteristic associated with drought resistance in tall fescue cultivars. **Crop Science**, Madison, v.40, p.196-203, 2000.

HUDSON, J.P. Relations between root and shoot in tomatoes. **Scientia Horticulturae**, 14, 49-54, 1960.

HURD, E. A. Growth of roots of seven varieties of spring wheat at high and low moisture levels. **Agronomy Journal**, 60(2): 201-5, 1968.

JUNG, P.K., E H.D.SCOTT. Leaf water potential, stomatal resistance, and relations in field-grown soybean. **Agronomy Journal**, 72:986-990, 1980.

KIMANI, P.M.; BENZONI, A.; VENTURA, M. Genetic variation in pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) in response to successive cycles of water stress. **Plant and Soil**, v.158, p.193-201, 1994.

KIRNAK, H.; KAYA, C.; TAS, I.; HIGGS, D. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, 27 (3-4), 34-46, 2001.

KOZLOWSKI, T.I. Water supply and leaf shedding. In: **Water stress and plant growth**. New York; Academic Press, 1976, n.4, p.191-222.

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

KRAMER, P. Water estress and growth. **Agronomy Journal**, 53:31-35, 1963.

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

LAURIANO, J.A.; RAMALHO, J.C.; LIDON, F.C. e MATOS, M. C. Peanut photosynthesis under drought and re-watering. **Photosynthetica**, v.42, n.1, p. 37-41, 2004.

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

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

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v.36, p.331-335, 1996.

LOPES, B. F.; SETER, T. L.; McDAVID, C. R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in responses to water deficit and recovery. **Crop Science**, Madison, v. 28, p. 141-145, 1998.

LOPES, N.F.; OLIVA, M. A.; CARDOSO, M. J.; GOMES, M. M. S.; SOUZA, V. F. de. Crescimento e conversão de energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades de fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, Viçosa, v.33, n.186, p. 142-164, 1986.

LUDLOW, M.M.; MUCHOW, R.C. A critical evaluation of traits for improving crop yield in water limited environments. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.43, p.107-53, 1990.

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

MANSUR, R. J. C. N. e BARBOSA, D. C. A. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton** 68: 97-106, 2000.

MARANOV, A., A. SAMEDOVAM, and T. SHIRVANY. Root-shoot relationships in plant adapatation to nitrogen deficiency. *Develop. Plant Soil Science*, 82: 147-154, 1998.

MARKHART, A. H. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. **Plant Physiology**, Lancaster, v.77, n. 1, p.113-117, 1985.

MATSUI, T.; SINGH, B. B. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. **Experimental Agriculture**, 39: 29 - 38, 2003.

Mc DERMIT, D.K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **HortScience**, Alexandria, v.25, n.12, p.1538-48, 1990.

MILANI, M.; GONDIM, T. M. S.; COUTINHO, D. **Cultura do Gergelim**. Campina Grande, PB, 10 p. mai, 2005. (Boletim Técnico 83).

MILLAR, A.A. Thermal regime of grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.23, n.4, p.173-6, 1972.

MOLNÁR, I.; GASPAR, L.; STÉHLI, L.; DULAI, S.; SÁRVÁRI, E.; KIRÁLY, I.; GALIBA, G.; MOLNÁR-LÁNG, M. The effects of drought stress on the photosynthetic processes of wheat and of *Aegilops biuncialis* genotypes originating from various habitats. **Acta Biologica Szegediensis**, v 46, n.3-4, p. 115-116, 2002.

NAUTIYAL, P. C.; RAVINDRA, V.; ZALA, P. V; JOSHI, Y. C. Enhancement of yield in groundnut following the imposition of transient soil-moisture-deficit stress during the vegetative phase. **Experimental Agriculture**, v.35, p. 371-385, 1999.

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

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, C. R. DOS, NETO, E. B, SANTOS, V. F. DOS. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.12, p1963-1969, dez.1998.

O'TOOLE, J.C. and W.L. BLAND. Genotypic variation in crop plant root systems. **Advances in Agronomy**, 41: 91-145, 1987.

OLIVEIRA JUNIOR, J. O. L. de. **Crescimento e produção de amendoim submetido a ciclos deficiência hídrica**. 1993, 63 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, J. E.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25,n.1,p.86-95,jan/abr., 2005.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. ; HABERMANN, G. E RODRIGUES, J. D. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agrícola (Piracicaba, Braz.)**, v.59, n.1, Piracicaba, jan./mar, 2002.

OSMOND, C.B; WINTER, K; POWLES. S.B. Adaptive significance of carbon dioxide cycling during photosynthesis in water-stressed plants. In: Turner NC, Kramer PJ (eds) **Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress**. John Wiley & Sons, New York, pp 139–154. ISBN 0-471-05372-4, 1980.

PANDEY, R. K.; HERRERA, W. A T.; PENDLETON, J.W. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. I. Yield and yield components. **Agronomy Journal**, v.76, p.559-553, 1984.

PAZ, V.; VERA, A.; PÁEZ, A. Distribución de biomasa de *Barleria lupulina* Lindl. en respuesta a tres regímenes de riego. **Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)**, 20: 273-281, 2003.

PEREIRA, P. G.; BERGONCI, J. I; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G.; e FRANÇA, S. Efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico na fotossíntese e condutância foliar em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 53-62, 2003.

PEREIRA-NETTO, A.B. de; MAGALHÃES, A. C.N. de; e PINTO, H. S. Effects of soil water depletion on the water relations in tropical kudzu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.7, p.1151-1157, jul. 1999.

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo**. 1991, 106 f. Dissertação de Mestrado, UFSM, Santa Maria.

PIMENTEL C, LAFFRAY D, LOUGUET P. Intrinsic water use efficiency at the pollination stage as a parameter for drought tolerance selection in *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, 106:184-198, 1999.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur,191p., 2004.

PIMENTEL, C., HÉRBET, G. Potencial fotossintético e condutância estomática em espécies de feijão caupi sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Carlos, v.11, n.10 p.7-11, 1999.

PIMENTEL, C.; SARR; DIOUF, O.;ABBOUD, S.DE.C.A.; MACAULEY, R.H. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural**, Série. Ciências da Vida, v.22, n.1, p.07-14, 2002.

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.

PINHO, J. L. N de e ANSEL, D. Evolução do teor de prolina em cultivares de milheto (*Pennisetum americanum* L.) e sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em resposta ao estresse hídrico. **Ciência Agronômica**, v. 26, n. 1/2, 1995.

PINHO, J.L.N.de. **Étude comparé des mecanismes physiologiques de la résistsnce à la sécheresse de cultivares de mil (*Pennisetum americanum* L.) et de sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] sensibles ou resistant**. Paris: Université PARIS VII, 1992, 158p. (Tese de Doutorado)

PLAUT, Z. **Photosynthesis in plant crop under water and salt stress**. In- PESSARAKLI, M. Handbook of plant crop physiology, Israel, cap. 27, p.587-601, 1995.

PRISCO, J. T. Possibilidades de exploração de lavouras xerófilas no semi-árido Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 21(4): 333-342, abr. 1986.

QUEIROZ, C. G. S.; GARCIA, Q.S. e LEMOS FILHO, J. P. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.14, n.1, p. 59-63, 2002.

RADFORD, P.J. Growth analysis formulae-their use and abuse. **Crop Science**, Madison, 7:107-15, 1967.

REDDY, A. R., CHAITANYA, K. V, VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology** 161: 1189–1202, 2004.

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**. 2001, 60 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

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**. 2001, 60 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SÁ SOBRINHO, A. F. de. **Efeitos da deficiência hídrica sobre a floração, crescimento vegetativo da raiz e parte aérea em cultivares de amendoim**. 1988, 61 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SAHNOUNE, M.; ADDA, A.; SOUALEM, S.; KAID-HARCH, M; MERAH, O. Early water deficit effect on seminal root barley. **Comptes Rendus. Biologies** 327: 389–398, 2004.

SALIM, M, H.; TOOD, G.W. e SCHLEHUBER, A. M. Root development of wheat, oats, and barley under conditions of soil moisture stress. **Agronomy Journal**, 603-7, abr, 1965.

SALINAS, A. R.; ZELENER, N.; CRAVIOTTO, R. M; BISARO, V. Respuestas fisiológicas que caracterizan el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la deficiencia hídrica en el suelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n. 5, p.331-338, mai, 1996.

SANTOS, F.R.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, n3, p.287-294, 1998.

SANTOS, I. F.dos. **Variações nos parâmetros fisiológicos e de produção em cultivares de amendoim (*Arachis hypogae* L.) sob diferentes regimes hídricos**. 1989. 79f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade do Ceará, Fortaleza.

SASSAKI, R. M.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1571-1579, set., 1999.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; HEMMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Sap pressure in vascular plants. **Science**, 148: 339-346, 1965.

SEMENTES ARMANI LTDA. **Cultivar de mamona Mirante 10**. Fazenda Agronorte II, Verdelândia/MG, sem data.

SIDDIQUE, M. R. B; HAMID. A; ISLAM, M. S. Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gás exchange of wheat. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v.40, p. 141-145, apr., 1999.

SIDDIQUE, M. R. B; HAMID. A; ISLAM, M. S. Drought stress effects on water relations of wheat. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v.41, p. 35-39, jul., 2000.

SILVA, A.D.A. **Deficiência hídrica em cultivares de amendoim** (*Arachis hypogae* L.). 1986. 49f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade do Ceará, Fortaleza.

SILVA, L. C; FIDELES FILHO, J; BELTRÃO, N. E. M; RAO, T. V. R. Variação diurna da resistência estomática à difusão de vapor de água em amendoim irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.17, n.3, mar, 1998.

SLATYER, R.O. **Plant-water relationships**. New York : Academic, 1967. 366p.

SOUZA, DE R.C.; SOARES, M.A; REGINA, A.DE M. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica, **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, out. 2001.

SOUZA, J.F.; BARREIRO NETO, M; SILVA, J. B.V; GILES, J.A. Velocidade de crescimento da raiz como parâmetro de resistência à seca no algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, V.18, n.2, p.169-172, 1983.

SOUZA, M.G; OLIVEIRA, F.R.de, CARDOSO,M.J.V. Temporal dynamics of stomatal conductance of plants under water deficit: can homeostasis be improved by more complex dynamics? **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n.3, p.423-431, jul., 2004.

SOUZA, M.G; VIANA, F.O.DE J.E OLIVEIRA, DE F.R. Asymmetrical leaves induced by water déficit show asymmetric photosynthesis in common bean. Research article, **Brazilian, Journal of Plant Physiology**, 17(2): 223-227, 2005.

STONE, L.F.; LIBARD, P.L. E REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares (I-Efeito na produtividade do arroz). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 19(6):695-707, 1984.

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

TÁVORA, F. J. A. F.; COSTA, J. O; ALVES, J. F.; FILHO, M. B. Respostas do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) a diferentes níveis de disponibilidade hídrica. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, 16(2): 95-102, 1985.

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.

TÁVORA, F. J. A. F.; QUEIROZ, G. M.; PINHO, J. L.N.; MELO, F. I. O. Comportamento de cultivares de mandioca com diferentes características foliares, submetidas a diversas densidades de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.17, n.3, p.417-431, 1982.

TÁVORA, F. J. A. F.; SILVA, F.P.; MELO O. I. F.; PITOMBEIRA, J. B.; COSTA NETO, F.V. Adaptabilidade e estabilidade de produção de genótipos de amendoim avaliados em diferentes ambientes. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 33, n. 1, p. 10-14, 2002.

TEARE, I.D.; PEET, M.M. **Crop –water relations**. John Wiley e Sons Publ., New York, 1983.

THOMAS, D. S.; EAMUS, D.; SHANAHAN, S. Influence of season, drought and xylem ABA on stomatal responses to leaf-to-air vapour pressure difference of trees of the Australian wet-dry tropics. **Australian Journal of Botany**, 48: 143-151, 2000.

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

TURNER, N.C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crops plants. In: Mussel, H. e Staples, R. C. **Stress physiology in crops plants**. New York, p.343-72, 1979.

TURNER, N.C. **Further progress in crop water relations**. In *Advances in agronomy* (D.L. Sparks, ed.). Academic Press, New York, p.293-337, 1997.

TURNER, N.C.; JONES, M.M. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. In: TURNER, N.C.; KRAMER, P.J. **Adaptation of plant to water and high temperature stress**. New York: J. Wiley, 1980. p.87-104.

ÜNYAYAR, S.; YÜKEL, K.; ÜNAL, E. Proline and aba levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, 30 (3 - 4), p.34-47, 2004.

VOS, J.; VAN DER PUTTEN, P.E.L.; HUSSEIN, M.H; VAN DAM, A.M.; LEFFELAAR P.A. Field observation on nitrogen catch crops: II. Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply. **Plant Soil**, 201: 149-155, .1998.

VU, J. C.; ALLEN, L. H.; JR. BOWEA, G. Drought stress and elevated CO₂ effects on soybean ribulose biphosphate carboxilaxe activity and canopy photosynthetic rates. **Plant Physiology**, 83:573-578, 1987.

WAN, C; SOSEBEE, R. E.; MCMICHAEL, B. L. Broom snakeweed responses to drought:II root growth, carbon allocation, and mortality. **Journal Range Manage**, 46:360-363, july, 1993.

XUE, Q.; WEISS, A.; ARKEBAUER, T.J.; BAENZIGER, S.P. Influence of soil water status and atmospheric vapor pressure deficit on leaf gas exchange in field-grown winter wheat, **Environmental and Experimental Botany**, 51:167–179, 2004.

YORDANOV, I; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant response to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**, 38:171-186, 2000.

YU, F; BERG, V.S. Control of Paraheliotropism in Two *Phaseolus* Species. **Plant Physiology**, 106: 1567-1573, 1994.

ZLATEV, Z. S. Effects of water stress on leaf water relations of young bean plants. **Journal of Central European Agriculture**, v.6, n.1, p. 5-14, 2005.