

JACQUELINE WANESSA DE LIMA PEREIRA

**RESPOSTAS FISIOLÓGICA E AGRONÔMICA DE GENÓTIPOS DE AMENDOIM
SOB CONDIÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO**

RECIFE

2010

**RESPOSTAS FISIOLÓGICA E AGRONÔMICA DE GENÓTIPOS DE AMENDOIM
SOB CONDIÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO**

JACQUELINE WANESSA DE LIMA PEREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Melhoramento Genético de Plantas, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração em Melhoramento Genético de Plantas.

Orientação

DSC. Péricles de Albuquerque de Melo Filho – Orientador

Professor Associado, DEPA, Área Fitotecnia – UFRPE

DSC. Roseane Cavalcanti dos Santos – Co-Orientadora

Pesquisadora da Embrapa Algodão

RECIFE – PE

Julho/2010

**RESPOSTAS FISIOLÓGICA E AGRONÔMICA DE GENÓTIPOS DE AMENDOIM
SOB CONDIÇÃO DE ESTRESSE HÍDRICO**

JACQUELINE WANESSA DE LIMA PEREIRA

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: ___/___/___

ORIENTADOR: _____

DSC. Péricles de Albuquerque Melo Filho
Professor Associado, DEPA, Área Fitotecnia – UFRPE

EXAMINADORES: _____

DSC. Terezinha de Jesus Rangel Camara
Professora Adjunto do Departamento de Química – UFRPE

DSC. Reginaldo de Carvalho

Professor Adjunto do Departamento de Biologia – UFRPE

DSC. Manoel Bandeira de Albuquerque

Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia e
Ciências Ambientais - CCA /UFPB

A Deus, que em todos os momentos está presente em minha vida, a minha mãe, ao meu pai, a minha irmã e ao meu irmão que em todas as horas sempre estiveram ao meu lado e torcendo por mim.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a *Deus*, pela minha vida, pela minha família, por tudo que tenho vivido e principalmente pela sua presença e amor. É Nele que encontro forças para superar todas as dificuldades da vida.

À minha família, *Glaucione* (minha Mãe), *Marcos* (meu Pai), *Janayna* (minha irmã), *Júnior* (meu irmão), por acreditar em mim, pelo apoio, torcida e principalmente pelo amor, sei que independente de qualquer coisa sempre estarão ao meu lado.

Ao meu namorado *Augusto*, pelo amor, companheirismo, incentivo, força, por todos os momentos que sempre esteve ao meu lado desde o início.

Aos meus tios, *Mirian* e *Givaldo*, pelo incentivo, torcida e apoio que sempre demonstraram.

À UFRPE, pela oportunidade de crescimento e acima de tudo realização profissional.

Ao meu orientador, Prof. *Péricles A. Melo Filho*, pelo apoio, pela credibilidade no meu trabalho e pelos conhecimentos passados com sabedoria e paciência.

À minha co-orientadora, Dr. *Roseane C. Santos*, por todos os ensinamentos, credibilidade, atenção, preocupação, apoio e oportunidade de aprender cada vez mais.

Ao Prof. *Manoel Bandeira*, pela amizade, pela ajuda, pela torcida e pelos conhecimentos passados ao longo desse mestrado, sendo fundamental para a sua realização.

A todos os meus amigos do laboratório Genoma, em especial, *M. Isabel, Carliane, Kalliny, Karin, José, Manuela, Roberto, Felipe, Rafael, Lucas e Eunice*, que me ajudaram efetivamente e muitas vezes exaustivamente na realização deste trabalho. Além de todo apoio e torcida que sempre demonstraram.

Aos meus Amigos da faculdade, *M. Isabel, Yohannes, Janaina, Carla, C. André, Danielle, Inácio e Kyllderes*. Por todo apoio, pela amizade e presença na minha vida.

Aos meus colegas de turma do Mestrado, em especial, *M. Isabel, Eva, Jaislanny, Marina, Manuela, Rômulo, Romero, Júlio e João* pela amizade e por todos os momentos de alegria e dificuldades que passamos juntos.

Ao Sr. *Ivaldo*, pessoa que tenho enorme, carinho, respeito e admiração.

A todos os Professores do programa que contribuíram para a minha formação acadêmica.

Ao Prof. *Reginaldo de Carvalho*, pela amizade e credibilidade.

A *Bernadete*, pelos momentos de descontração e ajuda sempre.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente sempre me apoiaram, torceram e me ajudaram a chegar até aqui.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| LISTA DE TABELAS | 9 |
| LISTA DE FIGURAS | 10 |
| RESUMO | 11 |
| ABSTRACT | 13 |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 15 |
| CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2. Revisão Bibliográfica | 18 |
| 2.1. <i>Importância e Mercado do amendoim</i> | 18 |
| 2.2. <i>Déficit hídrico: efeitos e alterações morfofisiológicas em amendoim</i> | 19 |
| 2.3. <i>Déficit hídrico e a produção de grãos de amendoim</i> | 23 |
| 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 25 |
| CAPÍTULO II - MUDANÇAS FISIOLÓGICAS E PRODUTIVAS EM ACESSOS DE AMENDOIM SUBMETIDOS AO DEFÍCIT HÍDRICO NA FASE REPRODUTIVA | 31 |
| RESUMO | 32 |
| INTRODUÇÃO | 34 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 36 |
| Relações hídricas | 37 |
| Pigmentos fotossintéticos | 38 |
| Análise de descritores relacionados com a produção | 38 |

| | |
|--|----|
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 39 |
| Relações hídricas | 39 |
| Análise dos descritores relacionados à produção de grãos | 48 |
| CONCLUSÕES | 53 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| CONCLUSÕES GERAIS | 58 |
| ANEXOS – NORMAS DA REVISTA | 59 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Descritores agronômicos de genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico durante a fase reprodutiva. 37
- Tabela 2.** Valores médios da temperatura (T), umidade relativa do ar (UR) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos períodos de avaliação porométrica dos genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico durante a fase reprodutiva. 37
- Tabela 3.** Características morfológica e agrônômica dos genótipos de amendoim, sob condições normais e de déficit hídrico. 52

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Valores médios da resistência difusiva (R_s) de genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. (*) Indica diferença estatística entre tratamentos ($p < 0,05$). 40
- Figura 2.** Valores médios da transpiração (E) de genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. (*) Indica diferença estatística entre tratamentos ($p < 0,05$). 42
- Figura 3.** (A) Valores médios do potencial hídrico (Ψ_f) e (B) do teor relativo de água (TRA) em folhas de quatro genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. Letras iguais, maiúsculas entre tratamentos hídricos e minúsculas entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 44
- Figura 4.** Valores médios do teor de prolina em folhas de quatro genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. Letras iguais, maiúsculas entre tratamentos hídricos e minúsculas entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 46
- Figura 5.** Valores médios do teor de clorofila total em folhas de quatro genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. Letras iguais, maiúsculas entre tratamentos hídricos e minúsculas entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 46

RESUMO

O amendoim é uma das oleaginosas mais cultivadas no mundo. Para os países de clima semi-árido, o Brasil, por exemplo, o amendoim é uma importante alternativa para a agricultura devido à baixa exigência hídrica durante o ciclo e adaptação aos ambientes com altas temperaturas e radiação solar. Apesar da tolerância à baixa disponibilidade hídrica, as exigências do amendoim não são as mesmas ao longo do ciclo. A escassez de água durante a fase reprodutiva afeta diretamente a formação e o enchimento das vagens, mesmo em cultivares notoriamente resistentes ao déficit hídrico. Segundo alguns autores, o que torna a planta do amendoim tolerante às adversidades ambientais são os mecanismos morfológicos e fisiológicos que mantêm a turgescência das plantas, mesmo sob condições de baixa disponibilidade de água. Entre as mudanças já estão em relações hídricas (comportamento estomático e ajustamento osmótico) e a expansão do sistema radicular para as áreas mais profundas e úmidas do solo. Confrontados com esta capacidade de adaptação, a compreensão do papel do déficit hídrico durante o ciclo produtivo da cultura é essencial para a adoção de estratégias de manejo que permitam uma produção segura em áreas propensas à seca. Neste trabalho, quatro genótipos de amendoim de diferentes hábitos de crescimento foram submetidos a 21 dias de estresse hídrico em casa de vegetação. O plantio foi realizado em vasos contendo solo de textura franco-arenosa, previamente corrigido e adubado. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com um esquema bi-fatorial 4x2 (4 genótipos x 2 tratamentos de água), com 10 repetições. Os tratamentos hídricos foram: controle (rega diária) e estresse (suspensão de rega). As variáveis avaliadas foram: resistência difusiva, transpiração, potencial hídrico, teor relativo de água, teor de prolina, teor de clorofila, comprimento radicular, peso seco das vagens, índice de colheita e índice de tolerância ao stress (STI). Sob condições de estresse, comportamento estomático foi alterado a partir da segunda semana, quando todos os genótipos aumentaram significativamente a resistência difusiva da superfície abaxial e reduziram a transpiração, destacando a isolinha LBM-Branco Moita/08. O potencial de água de todos os genótipos foi significativamente reduzido, sendo mais expressivos em isolinhas LBM-Branco Moita/08 e LBR-Branco Rasteiro/08 atingindo valores mais negativos. A LBM-Branco Moita/08 também apresentou elevado acúmulo de prolina e, juntamente com um BR

1 teve a maior expansão do sistema radicular como forma de adaptação. No aspecto de produção, a LBM-Branco Moita/08 revelou as menores reduções no peso das vagens e índice de colheita, quando submetida ao déficit hídrico. Quanto ao STI, os valores obtidos com a cv. BR1 confirmam a sua aptidão para o manejo em ambientes semi-árido, as isolinhas LBR-Branco Rasteiro/08 e LBM-Branco Moita/08 também apresentaram desempenho significativo de produção em ambientes com restrição hídrica.

ABSTRACT

Peanut is one of the most cultivated oily in the world. For countries of semi-arid climate, as Brazil, for example, the peanut is an important alternative to farming due to the low water requirement during the cycle and adaptation to environments of high temperature and solar radiation. Despite the tolerance to low water availability, peanuts' requirements are not the same over the cycle. Water shortage during the reproductive phase directly affects the formation and filling of pods, even in cultivars notoriously resistant to water deficit. According to some authors, which makes the peanut plant tolerant to environmental adversities are the morphological and physiological mechanisms that maintain the plant turgidity, even under low water availability conditions. Among those are cited changes in water ratios (stomatal behavior and osmotic adjustment) and the expansion of the root system for deeper and wetter soil areas. Faced with this adaptability, understanding the role of water deficit during the production cycle of culture is essential for adopting management strategies that enable secure production in areas prone to drought. In this work, four peanut genotypes of different growth habits were subjected to 21 days of water stress in a greenhouse. The planting was performed in pots containing sandy-loam texture soil, previously limed and fertilized. The experimental design was randomized with a bi-factorial 4x2 scheme (4 genotypes x 2 water treatments) with 10 repetitions. the water treatment were control (daily irrigation) and stress (irrigation suspension). The variables evaluated were difusive resistance, transpiration, leaf water potential, relative water content, proline content, chlorophyll content, root length, dry weight of pods, harvest index and stress tolerance index (STI). Under stress conditions, stomatal behavior was changed from the second week, when all genotypes significantly increased abaxial surface diffusive resistance and reduced sweating, highlighting the isoline LBM Branco Moita/08. The water potential of all genotypes was significantly reduced, being more expressive in isolines LBM-Branco Moita/08 and LBR-Branco Rasteiro/08 reaching more negative values. The LBM-Branco Moita/08 also had higher levels of proline and along with a BR 1 had the greatest expansion of the root system as adaptive way. In the production aspect, the LBM-Branco Moita/08 revealed the lowest reductions in weight of pods and harvest index when subjected to water deficit. Regarding the STI, values obtained with the cv. BR1 confirm its suitability for management in semi-arid environments; the strains LBR-

Branco Rasteiro/08 and LBM-Branco Moita/08 also showed significant production performance in environments with water restriction.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O amendoim (*Arachis hypogaea L.*) é uma oleaginosa de alto valor nutritivo, cuja a produção de grãos é destinada aos mercados de consumo in natura e de alimentos para a fabricação de doces e salgados. Outra demanda que tem surgido recentemente para esta oleaginosa é o segmento de agroenergia, no qual o amendoim pode contribuir para produção de biodiesel (PARENTE, 2003).

O amendoim é uma das oleaginosas mais cultivadas no mundo. No ano de 2009, foram produzidos aproximadamente 31,45 milhões de toneladas de grãos de amendoim, sendo China, Índia, Estados Unidos, Nigéria e Indonésia os principais produtores. O Brasil ocupou a décima quinta posição com uma produção de 295.704 toneladas (IBGE, 2010; USDA, 2009).

No Brasil, a produção de amendoim concentra-se nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. Nesta última, o cultivo é conduzido freqüentemente em regime de sequeiro, pois a região é caracterizada por precipitações irregulares e mau distribuídas, o que, vez por outra, levam a veranicos que podem durar de 15 até mais de 30 dias, dependendo do local (NOGUEIRA e SANTOS, 2000).

A baixa disponibilidade hídrica no solo afeta diretamente a cultura do amendoim e, conseqüentemente, diversos processos fisiológicos são comprometidos. Normalmente, o estresse causado pela seca impõe à planta alterações no crescimento, nas relações hídricas e nutricionais, na fotossíntese e na produtividade (FAROOQ et al., 2009). Em resposta ao déficit hídrico, o amendoim apresenta mecanismos fisiológicos e morfológicos para manter a turgescência da planta, entre eles: redução do potencial hídrico, fechamento dos estômatos, acúmulo

de prolina e expansão do sistema radicular para áreas mais profundas e úmidas do solo (NOGUEIRA et al., 1998; NOGUEIRA e SANTOS, 2000; NOGUEIRA e TÁVORA, 2005; NOGUEIRA et al., 2006).

Apesar de tais mecanismos de adaptação, o amendoim, tem sua produção prejudicada devido ao déficit hídrico, sendo, as fases de floração e enchimento dos frutos mais sensíveis que a fase inicial de crescimento vegetativo e do início do florescimento (NOGUEIRA e TÁVORA, 2005). Para evitar problemas de produtividade é interessante a adoção, por partes dos agricultores, de cultivares tolerantes ao déficit hídrico.

Na região Nordeste, os trabalhos de melhoramento do amendoim iniciados pela Embrapa Algodão datam da década de 80, onde um dos principais objetivos é desenvolver materiais precoces, produtivos e que apresentem boa resposta adaptativa e tolerância ao déficit hídrico. Para tanto, o conhecimento das expressões fisiológicas, das alterações morfológicas e do potencial produtivo em condições de déficit hídrico contribui substancialmente na identificação de genótipos promissores, sendo estratégias adotadas nos trabalhos de melhoramento da cultura (SANTOS et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas fisiológica e agrônômica de quatro genótipos de amendoim submetidos ao déficit hídrico para identificação de materiais promissores a serem empregados em futuros programas de melhoramento genético da cultura.

CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância e Mercado do amendoim

O amendoim é um alimento de alto valor nutritivo (580 calorias/100 g de sementes), com elevados teores de óleo, proteína, vitamina (E e do complexo B) e minerais (FREIRE et al., 2005). Em nível mundial, no ano de 2009 foram produzidos, aproximadamente, 31,45 milhões de toneladas de grãos, sendo China, Índia, Estados Unidos, Nigéria e Indonésia os principais produtores. O Brasil ocupou a décima quinta posição (USDA, 2009), com uma produção estimada em, aproximadamente, 296.000 toneladas. Para safra de 2010, estima-se 260.000 toneladas de grãos (IBGE, 2010).

Em termos sociais, o cultivo do amendoim no Nordeste tem grande importância entre os pequenos agricultores, por ser utilizado como diversificação de cultura e principalmente por ser uma das fontes de auto-sustento familiar. A área de cultivo do amendoim nessa região para a safra 2009/2010, é de 10,7 mil hectares, com uma produtividade de aproximadamente 993 Kg/ha (CONAB, 2010). Os principais Estados produtores são: Ceará, Paraíba, Sergipe e Bahia. Na safra 2008, o Estado de Pernambuco teve uma área plantada de 107 hectares e um rendimento médio de 1.261 Kg/ha (IBGE, 2008). Os tipos mais cultivados são os de porte ereto, o que facilita a colheita manual, e têm ciclo em torno de 90 dias . A Embrapa desenvolveu três cultivares que atendem esta demanda, a BR1, a BRS 151-L7 e a BRS Havana, todas adaptadas ao semi-árido, de excelente valor nutricional e voltadas para o mercado in natura (SANTOS et al., 2005).

A maioria do mercado brasileiro de grãos de amendoim é voltada para os segmentos de consumo in natura e de confeitaria, para fabrico de doces e salgados (FREITAS et al., 2005). O segmento oleoquímico, destinado ao setor de esmagamento para a fabricação do óleo comestível, já teve grande destaque no passado, por volta da década de 70. Esse mercado foi substituído pelo óleo da soja, invertendo o cenário nacional com relação a este segmento (FREITAS et al., 2005). Outra demanda que tem surgido recentemente para esta oleaginosa é o segmento de agroenergia, onde o amendoim pode ser utilizado para produção de biodiesel (PARENTE, 2003).

Os tipos de amendoim plantados no Brasil são, na maioria, de porte ereto. Esses materiais possuem de 3 a 4 sementes/vagem, sementes médias e tegumento vermelho, atendendo especialmente o mercado de consumo in natura. Os de porte rasteiro, mais demandados pelas indústrias de confeitaria, possuem de 1 a 2 sementes/vagem, sementes grandes e tegumento bege.

2.2. Déficit hídrico: efeitos e alterações morfofisiológicas em amendoim

A interação existente entre as plantas e as condições favoráveis do ambiente garante o bom funcionamento de todo metabolismo vegetal, assim como o seu crescimento e sua produção. As espécies vegetais, no entanto, enfrentam algum tipo de estresse biótico e/ou abiótico ao longo dos seus ciclos vitais, tais como: seca, salinidade, temperaturas extremas, metais pesados, ataques por patógenos (bactérias, fungos, vírus), pragas, entre outros, causando danos e comprometendo a sua produtividade (MAHAJAN e TUTEJA, 2005).

Entre os estresses abióticos, um dos mais críticos é o hídrico que pode ocorrer em duas condições opostas: pelo excesso ou pela escassez de água. Os efeitos do déficit hídrico podem atingir os vegetais em nível morfológico, fisiológico e molecular e são evidentes em qualquer estágio fenológico, podendo variar de acordo com a espécie atingida, o estágio em que a mesma se encontra e com a severidade e duração do estresse (FAROOQ et al., 2009; MAHAJAN e TUTEJA, 2005).

A seca atinge diretamente o crescimento, a produtividade, as relações hídricas e nutricionais, a fotossíntese, a distribuição dos assimilados, a respiração, além de ocasionar a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (*Reactive Oxygen Species* – ROS). Sob condições de baixa umidade no solo, algumas plantas buscam adaptar-se a tal condição por meio de respostas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (FAROOQ et al., 2009). Intrinsecamente, a divisão, o alongamento e a diferenciação celular são afetados pela perda da turgescência e, conseqüentemente, ocorre uma redução da altura e da área foliar da planta (HUSSAIN et al., 2008; KAYA et al., 2006; NONAMI, 1998;). Távora e Melo (1991), em condições de casa de vegetação, estudaram a resposta de quatro cultivares de amendoim (PI 165317, Geórgia e 55437, pertencentes ao grupo Spanish, e Tatu, ao grupo Valência) submetidas a ciclos de deficiência hídrica, e verificaram reduções na taxa de 39%, 26% e 17%, na área foliar total, no número de folhas e na área foliar unitária, respectivamente.

Ao contrário da redução da parte aérea das plantas sob déficit hídrico, pode ocorrer uma expansão do sistema radicular, onde a raiz principal cresce para atingir zonas mais profundas e úmidas e as raízes secundárias se expandem para aumentar a área de contato com o solo. Nota-se uma relação entre a biomassa da parte aérea e da raiz, onde a razão raiz/parte aérea é maior na condição de déficit

hídrico, uma vez que os fotoassimilados são translocados para as raízes proporcionando sua expansão. Graciano (2009) constatou redução da biomassa da parte aérea e aumento nas raízes, além de aumento de 5,5 vezes na relação raiz/parte aérea em plantas de amendoim sob 43 dias de suspensão de rega, em relação ao tratamento controle.

A raiz é a primeira parte da planta que percebe o estresse e através de sinais químicos, como o ácido abscísico, sinaliza às folhas para o fechamento dos estômatos, evitando a perda de água através da transpiração. O controle estomático, portanto, está estreitamente ligado à disponibilidade hídrica do solo (MORGAN, 1990; TAYLOR, 1991; TURNER et al., 2001).

Silva et al. (1998a) avaliaram, em condições de campo, a resposta da cultivar BR-1 submetida a dois regimes de irrigação, 300 mm e 700 mm de água a cada 4 dias, objetivando determinar a variação diurna da resistência estomática. Segundo os autores, o fornecimento de uma lâmina total de 300 mm proporcionou maior resistência estomática à difusão de vapor d'água e menor taxa transpiratória em comparação com o tratamento de 700 mm. Os autores concluíram que o amendoim aciona mecanismos de defesa contra a perda de água quando a umidade do solo é baixa e que tal procedimento interfere no crescimento e desenvolvimento vegetal, mas permite garantir a sobrevivência, desde que o déficit hídrico não seja bastante severo e prolongado.

Em condições de seca, as relações hídricas das plantas são fortemente afetadas e para que não ocorra a desidratação celular, as plantas diminuem o seu potencial hídrico em relação ao solo na tentativa de absorver o máximo de água disponível. As plantas de amendoim sob déficit hídrico podem reduzir seu potencial

hídrico foliar até - 3,0 a - 4,5 MPa, entretanto esses valores podem variar em virtude da umidade do solo, do déficit de pressão de vapor, do horário em que são registrados, da variedade da cultura e do estágio fenológico em que a mesma se encontra (NOGUEIRA et al., 1998).

Graciano (2009) submeteu as cultivares BR1 e BRS Havana a três tratamentos hídricos (rega diária, rega a cada cinco dias e suspensão de rega) durante 43 dias e observou que as relações hídricas das cultivares foram significativamente influenciadas pela deficiência hídrica; os valores do potencial hídrico das plantas sob suspensão de rega foram os mais negativos chegando a - 4,0 e - 3,25 MPa às 12 horas para as cvs. BR1 e BRS Havana, respectivamente. O conteúdo relativo de água foliar da cv. BR1 apresentou maior redução no tratamento hídrico com rega a cada cinco dias, enquanto que no tratamento de suspensão de rega não houve diferença significativa quando comparada ao controle.

O potencial hídrico é um descritor muito útil para identificar cultivares tolerantes à seca. Segundo Nogueira et al. (1998), que estudaram as cultivares de amendoim, resistente, Nigéria 55437, e sensível, IAC Tupã, submetidas a 10 dias de suspensão de rega, os valores do potencial hídrico (-2,3 MPa para a cultivar resistente e -1,3 MPa para a sensível) serviram como forte indicador do status da planta no aspecto de tolerância ao estresse, sendo este descritor um dos utilizados nos critérios de seleção para resistência a seca pelos melhoristas de amendoim da Embrapa.

O ajustamento osmótico é um meio encontrado pelas plantas como forma de manter o potencial hídrico e a turgescência de suas células próxima ao nível adequado. Esse ajuste é realizado por meio da produção e acúmulo de compostos

orgânicos de baixo peso molecular, não tóxicos e bastante solúveis, como os açúcares, prolina, ácidos orgânicos, além de íons cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+) e cloreto (Cl^-), entre outros (FAROOQ et al., 2009; NEPOMUCENO et al., 2001). As culturas diferem quanto a sua capacidade de ajuste osmótico, podendo isto ser um critério para medir a sua habilidade em suportar a seca (NEPOMUCENO et al., 2001).

A prolina é um dos osmorreguladores mais estudados em plantas sob diversos estresses ambientais (hídrico, calor, salinidade, entre outros) (WYN JONES e GORHAM, 1983; ASPINALL e PALEG, 1981). Pálfi e Juhász (1971) afirmam que, sob idênticas condições de déficit hídrico, as plantas mais tolerantes à seca sintetizam uma maior quantidade de prolina quando comparadas com plantas sensíveis. Segundo Maia et al. (2007), a capacidade de acumular prolina varia em função do genótipo e dos níveis de tolerância ao estresse ambiental. Nogueira et al. (1998), avaliando as respostas fisiológicas de duas cultivares de amendoim sob condições de estresse hídrico verificaram um aumento na concentração de prolina livre em ambas cultivares quando submetidas à suspensão de rega, sendo este acúmulo muito maior na cultivar tolerante Nigéria 55437 (14,8 vezes em relação ao tratamento controle) que na cultivar sensível IAC Tupã (9,5 vezes em relação ao tratamento controle).

2.3. Déficit hídrico e a produção de grãos de amendoim

Em ambientes com baixa disponibilidade hídrica, as plantas revelam níveis diferenciados de impactos na sua produção, dependendo da intensidade e duração do estresse hídrico e do genótipo. Para a cultura do amendoim, o estresse é mais

crítico quando acontece na fase reprodutiva (floração e enchimento dos frutos), sendo os genótipos do tipo rasteiro mais sensíveis (Nogueira e Santos, 2000).

De acordo com Vorasoot et al. (2003), uma disponibilidade de água de apenas ½ da capacidade de campo (CC) durante o ciclo da cultura do amendoim provoca perdas de aproximadamente 74% na produção de vagens; sob uma escassez mais intensa, apenas ¼ da CC, as perdas passam para 86%, sendo mais expressiva em acessos da subespécie *hypogaea*, que engloba os genótipos rasteiros. Silva et al. (1998b) constataram que uma lâmina de água de 300mm a cada 6 dias, em condições de campo provoca reduções de aproximadamente 70% na produtividade do amendoim (cv. BR1 – grupo Valência) tanto em grão como em casca. Távora e Melo (1991) constataram reduções na produção de vagens de aproximadamente 62% em genótipos de amendoim pertencentes aos grupos Spanish e Valência quando submetidos a ciclos de deficiência hídrica em condições de casa de vegetação.

Os descritores agronômicos, como a produção de vagens e sementes, associados com o índice de tolerância ao estresse (STI) são comumente utilizados e recomendados para os processos seletivos dos programas de melhoramento que visam identificar genótipos com maior aptidão para manejo em ambientes semi-árido.

O STI permite identificar dentro de um grupo de genótipos, aqueles que mantêm níveis adequados de produção quando cultivados em condições de déficit hídrico (Fernandez, 1992). Esse índice contribui efetivamente nos processos de seleção, é confiável e fácil de ser calculado, a partir da fórmula:

$$STI = y_p \times y_s / (\bar{y})^2$$

Onde:

y_p : produção de vagens das plantas irrigadas;

y_s : produção de vagens das plantas estressadas;

$(\bar{y})^2$: quadrado da produção de vagens das plantas irrigadas de todos os genótipos.

O STI já foi utilizado em diferentes culturas como: trigo (SABA et al., 2001), lentilha (RAD et al., 2009) e cevada (NAZARI e PAKNIYAT 2010). Em amendoim do tipo Spanish (subespécie vulgaris), Clavel et al. (2004; 2006) e Painawadee et al. (2009) utilizaram o STI para identificar genótipos africanos tolerantes à seca, do tipo Spanish (subespécie vulgaris).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASPINALL, D. e L.G. PALEG. Proline Accumulation: Physiological Aspects. *In* D. ASPINALL e L.G. PALEG (eds.), **Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants**, Academic Press, Australian, p. 206-241. 1981.

CLAVEL, D., SARR, B., MARONE, E., ORTIZ, R. Potential Agronomic and Physiological Traits of Spanish Groundnut Varieties (*Arachis hypogaea* L.) as Selection Criteria Under End-of-Cycle Drought Conditions. **Agronomy for Sustainable and Development**, v. 24, n. 2, p. 101-111, 2004.

CLAVEL, D., DIOUF, O., KHALFAOUI, J. L., BRACONNIER, S. Genotypes Variations in Fluorescence Parameters Among Closely Related Groundnut (*Arachis*

hypogaea L.) Lines and Their Potential for Drought Screening Programs. **Field Crops Research**, v.96, p. 296–306, 2006.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S.M.A. Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management, **Agronomy for Sustainable and Development**, v. 29, p. 185–212, 2009.

FERNANDEZ, G. C. J. Effective Selection Criteria for Assessing Plant Stress Tolerance. In: **Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress Tolerance**. KUO, C. G. (Ed.), Asian Vegetable Research and Development Center: Taiwan. p. 257-270, 1992.

FREIRE, R. M. M. ; NARAIN, N ; SANTOS, R. C. Aspectos Nutricionais de Amendoim e seus derivados. In: SANTOS, R.C. (ed.): **O Agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005, p. 389-420.

FREITAS, M.S; MARTINS, S.S.; NOMI, A.K.; CAMPOS, A.F. Evolução do mercado brasileiro de amendoim. In: Santos, R.C. **O Agronegócio do Amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília: Embrapa Informações Tecnológica, 2005. p.15-44.

GRACIANO, E. S.A. Estudos Fisiológicos e Bioquímicos de Cultivares de Amendoim (*Arachis hypogaea* L.) Submetidas à Deficiência Hídrica, **Dissertação**, 2009.

HUSSAIN M., MALIK M.A., FAROOQ M., ASHRAF M.Y., CHEEMA M.A. Improving Drought Tolerance by Exogenous Application of Glycinebetaine and Salicylic acid in Sunflower, **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, p. 193–199, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola. Disponível

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201003_7.shtm. Acessado em 19/04/2010.

KAYA M.D., OKÇUB G., ATAKA M., ÇIKILIC Y., KOLSARICIA Ö. (2006) Seed Treatments to Overcome Salt and Drought Stress During Germination in Sunflower (*Helianthus annuus* L.), **European Journal of Agronomy**, v. 24, p. 291–295, 2006.

MAHAJAN, S. e TUTEJA, N. Cold, Salinity and Drought Stresses: An Overview, **Archives of Biochemistry and Biophysics** v. 444, p. 139–158, 2005.

MAIA, P. S. P.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CASTRO, D. S.; FREITAS, J. M. N.; LOBATO, A. K. S.; COSTA, R. C. L. Conteúdo Relativo de Água, Teor de Prolina e Carboidratos Solúveis Totais em Folhas de Duas Cultivares de Milho Submetidas a Estresse Hídrico. **Revista Brasileira de Biociências** v.5, p. 918-920, 2007.

MORGAN, P.W. Effects of Abiotic Stresses on Plant Hormone Systems, in: **Stress Responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms**, p. 113–146, 1990.

NAZARI, L. e PAKNIYAT, H. Assessment of Drought Tolerance in Barley Genotypes. **Journal of Applied Sciences**, v. 10, n. 2, p. 151-156, 2010.

NEPOMUCENO, A. L., NEUMAIER, N., FARIAS, J. R. B , OYA, T. Tolerância à Seca em Plantas. **Biociência. Ciência. & Desenvolvimento**. n.23, p. 12-18, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C., SANTOS, R. C., BEZERRA NETO, E., SANTOS, V. F. Comportamento Fisiológico de Duas Cultivares de Amendoim Submetidas a Diferentes Regimes Hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 1963-1969, 1998.

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

NOGUEIRA, R. J. M. C. e TÁVORA, F. J. A. F. Ecofisiologia do Amendoim (*Arachis hypogaea* L.). In: SANTOS, R.C. (ed.): **O Agronegócio do amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005, p.. 71-122.

NOGUEIRA, R.J.M.C., MELO FILHO, P. A., CARVALHO, R., ALBUQUERQUE, M. B., SANTOS, R.C. Comportamento estomático e potencial da água da folha em amendoim cv. BRS 151 L7 submetido a estresse hídrico, **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 10, n. 1/2, p. 985-991, 2006.

NONAMI H. Plant Water Relations and Control of Cell Elongation at Low Water Potentials, **Journal of Plant Research**, v.111, p. 373–382, 1998.

PAINAWADEE, M.; JOGLOY, S.; KESMALA, T.; AKKASAENG, C.; PATANOTHAI, A. Identification of traits related to drought resistance in Peanut (*Arachis hypogaea* L.), **Asian Journal of Plant Sciences**, v.8, n.2, p.120-128, 2009.

PÁLFI, G.; JUHÁSZ, J. Theoretical Basis and Practical Application of a New Method of Selection for Determining Water Deficiency in Plants. **Plant e Soil**, v. 34, p. 503-507, 1971.

PARENTE, E.J.S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. **Tecbio**, Fortaleza-CE, 2003.

RAD, M. R. N., GHASEMI, A., ARJMANDINEJAD, A. Study of Limit Irrigation on Yield of Lentil (*Lens culinaris*) Genotypes of National Plant Gene Bank of Iran by

Drought Resistance Indices. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science**, v. 6, n. 3, p. 352-355, 2009.

SABA, J., MOGHADDAM, M., GHASSEMI, K. e NISHABOURI, M.R. Genetic Properties of Drought Resistance Indices. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.3, p. 43-49, 2001.

SANTOS, R.C.; GODOY, J. I.; FÁVERO, A.P. Melhoramento do Amendoim. In. SANTOS, R.C. **O Agronegócio do Amendoim no Brasil**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Brasília: Embrapa Informações Tecnológica, 2005. p.124-192.

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. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 269-276, 1998a.

SILVA, L. C., BELTRÃO, N. E. M., RAO, T. V. R., FIDELES FILHO, J. Efeito do Manejo da Irrigação na Qualidade da Produção e na Produtividade do Amendoim cv. BR1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.2, p.175-178, 1998b.

TÁVORA, F. J. A. F.; MELO, F. I. O. Respostas de Cultivares de Amendoim a Ciclos de Deficiência Hídrica: Crescimento Vegetativo, Reprodutivo e Relações Hídricas. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.22, n. 1/2, p. 47-60, 1991.

TAYLOR I.B. Genetics of ABA Synthesis, in: DAVIES W.J., JONES, H. G., (Eds.), Abscisic acid: Physiology and Biochemistry, **Bios Scientific Publishers Ltd**. UK, p. 23–38, 1991.

TURNER N.C., WRIGHT G.C., SIDDIQUE K.H.M. Adaptation of Grain legumes (Pulses) to Water-Limited Environments, **Advances in Agronomy**, v. 71, p. 123-23, 2001.

USDA. United States Department of Agriculture. Oilseed, Peanut 2009. Disponível em http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/CommodityView.cfm?cropid=2221000&selected_year=2009. Acessado em 19/04/2010.

VORASOOT, N.; SONGSRI, P.; AKKASAENG, C.; JOGLOY, S.; PATANOTHAI, A. Effect of water stress on yield and agronomic characters of peanut, **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 25, n. 3, p. 283-288, 2003.

WYN JONES, R.G. e GORHAM, J. Osmoregulation. In: LANGE, D.L.; NOBEEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H. **Encyclopedia of Plant Physiology: Physiological Plant Ecology. III-Response to Chemical and Biological Environment**. Springer-Verlag, Berlin: 1983, p.35-58.

CAPÍTULO II

MUDANÇAS FISIOLÓGICAS E PRODUTIVAS EM ACESSOS DE AMENDOIM SUBMETIDOS AO DÉFICIT HÍDRICO NA FASE REPRODUTIVA

Manuscrito a ser submetido à
Revista Agronomy for Sustainable
Development.

Mudanças Fisiológicas e Produtivas em acessos de Amendoim Submetidos ao Déficit Hídrico na Fase Reprodutiva

Jacqueline W. L. PEREIRA^{a*}, Roseane C. SANTOS^b, Manoel B. ALBUQUERQUE^c, Rejane J. M. C. NOGUEIRA^d, Péricles A. MELO FILHO^e.

^a Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas, Departamento de Agronomia/UFRPE, Recife-PE. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, jacquelinewlp@gmail.com; ^b Embrapa Algodão, CP. 174, Campina Grande-PB, 58107-720, caval@cpna.embrapa.br, ^c Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais/UFPB, Areia-PB, manoel@cca.ufpb.br; ^d Professora do Departamento de Biologia/UFRPE, Recife-PE, rjmansur1@gmail.com; ^e Professor Associado do Departamento de Agronomia/UFRPE, Recife-PE, pericles@depa.ufrpe.br.

Resumo: Quatro genótipos de amendoim de diferentes hábitos de crescimento foram submetidos a 21 dias de déficit hídrico em casa de vegetação. O plantio foi feito em vasos contendo solo de textura franco-arenosa, previamente corrigido e adubado. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema bi-fatorial 4x2 (4 genótipos x 2 tratamentos hídricos), com 10 repetições. As variáveis analisadas foram: teor de clorofila, resistência estomática, transpiração, potencial hídrico foliar, teor relativo de água, teor de prolina, comprimento da raiz, peso seco das vagens, índice de colheita e índice de tolerância ao estresse (STI). Sob condições de estresse, o comportamento estomático foi alterado a partir da segunda semana, quando todos os genótipos aumentaram significativamente a resistência difusiva da superfície abaxial e reduziram a transpiração, destacando-se a isolinha LBM-Branco Moita/08. O potencial hídrico de todos os genótipos foi significativamente reduzido, sendo mais expressivo nas isolinhas LBM-Branco Moita/08 e LBR-Branco Rasteiro/08 que atingiram valores mais negativos. A LBM-Branco Moita/08 também teve maior acúmulo de prolina e, junto com a BR 1, teve maior expansão do sistema radicular como forma

adaptativa. No aspecto de produção, a LBM-Branco Moita/08 revelou as menores reduções no peso das vagens e no índice de colheita, quando submetida ao déficit hídrico. Com relação ao indicador STI, os valores obtidos com a cv. BR1 confirmam sua aptidão ao manejo em ambientes semi-áridos; as linhagens LBR-Branco Rasteiro/08 e LBM-Branco Moita/08 também apresentaram relevante desempenho produtivo em ambientes com restrição hídrica.

Termos para indexação: resistência difusiva, transpiração, potencial hídrico, teor relativo de água, prolina, índice de colheita.

INTRODUÇÃO

O amendoim é uma das oleaginosas mais cultivadas no mundo. A produção mundial tem se situado em aproximadamente 31 milhões de toneladas de grãos, sendo China, Índia, Estados Unidos, Nigéria e Indonésia os principais produtores. Para os países de clima semi-árido, o amendoim constitui-se uma importante alternativa agrícola devido a baixa exigência hídrica durante o ciclo e a adaptação a ambientes de altas temperatura e radiação solar (Nogueira e Santos, 2000; Painawadee et al., 2009; Vorasoot et al., 2003).

Apesar da tolerância a ambientes com baixa disponibilidade hídrica, as exigências do amendoim não são as mesmas durante as diferentes fases do ciclo. A escassez de água durante a fase reprodutiva afeta diretamente o enchimento e formação das vagens, mesmo em cultivares conhecidamente resistentes ao estresse hídrico. De acordo com Vorasoot et al. (2003), uma disponibilidade de apenas $\frac{1}{2}$ da capacidade de campo durante o ciclo do amendoim provoca perdas na ordem de 74% na produção de vagens; com uma escassez mais intensa, da ordem de $\frac{1}{4}$, as perdas passam para 86%, sendo mais expressiva em acessos da subespécie *hypogaea*, que engloba os genótipos rasteiros.

De acordo com alguns autores, o que torna a planta do amendoim tolerante às adversidades ambientais são os mecanismos fisiológicos e morfológicos que mantêm a turgescência da planta, mesmo em condições de baixa disponibilidade hídrica. Entre estes citam-se alterações nas relações hídricas (comportamento dos estômatos e ajustamento osmótico) e a expansão do sistema radicular para áreas mais profundas e úmidas do solo (Arunyanark et al., 2008; Nogueira et al., 1998; Nogueira e Santos, 2000; Painawadee et al., 2009; Vorasoot et al., 2003).

Diante desta capacidade de adaptação, o entendimento do papel do déficit hídrico durante o ciclo de produção da cultura é imprescindível para que se adotem estratégias de

manejo que possibilitem garantir a produção em áreas propícias à seca. Alguns trabalhos descritos na literatura reportam sobre o uso de alguns descritores fisiológicos e agronômicos que tem sido úteis nos processos seletivos para tolerância a seca. Entre os fisiológicos, as análises das relações hídricas e teores dos pigmentos fotossintéticos têm sido utilizadas por vários fisiologistas na identificação de acessos tolerantes ao déficit hídrico em amendoim (Arunyanark et al., 2008; Clavel et al., 2004; Clavel et al., 2006; Painawadee et al., 2009), feijão (Zlatev, 2005), trigo (Johari-Pireivatlou et al., 2010), entre outras culturas.

Com relação aos descritores agronômicos os mais utilizados são os relacionados com a produção de vagens e sementes, os quais, associados com o índice de tolerância ao estresse (STI), têm possibilitado ao melhorista identificar acessos com maior aptidão para manejo em ambiente semi-árido (Nazari e Pakniyat, 2010; Painawadee et al., 2009; Porch et al., 2009).

O uso do STI como descritor para estimar acessos tolerantes ao déficit hídrico tem sido demonstrado por Saba et al. (2001), em trigo, por Rad et al. (2009), em lentilha, e por Nazari e Pakniyat (2010), em cevada. Esse índice estima a habilidade dos acessos em manter sua produção em níveis adequados quando cultivados em condições de deficiência hídrica, permitindo a identificação dos materiais mais tolerantes. Em amendoim, o STI foi usado por Clavel et al. (2004; 2006) e Painawadee et al. (2009) para identificar genótipos africanos do tipo Spanish (subespécie vulgaris), tolerantes à seca.

O objetivo do presente trabalho foi, por meio de descritores fisiológicos e agronômicos, identificar genótipos de amendoim dos tipos hypogaea e fastigiata, tolerantes ao déficit hídrico, com finalidade de indicar materiais promissores a serem empregados em futuros programas de melhoramento genético da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de quatro genótipos de amendoim foram cultivadas em casa de vegetação do Departamento de Agronomia da UFRPE (Lat. 7° 54' 43" S, Long. 34° 54' 10" O, Alt. 19m), durante os meses de janeiro a maio de 2010. O plantio foi feito em bandejas contendo areia lavada, onde as plântulas permaneceram por 5 dias, sendo a seguir transplantadas para vasos (50 cm de diâmetro e 15,5 cm de profundidade) contendo solo de textura franco-arenosa previamente corrigido e adubado de acordo com as necessidades da cultura. As regas foram mantidas diariamente, no início da manhã, mantendo-se a umidade próxima à capacidade de campo, verificada pelo início da drenagem.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com esquema bifatorial 4x2, com 10 repetições. A unidade experimental foi representada por uma planta/vaso. Dois tratamentos hídricos foram utilizados, rega diária (controle) e suspensão da rega (estresse), os quais foram discriminados quando 50% das plantas iniciaram a floração. A partir do início da suspensão da rega, a cada sete dias foram avaliados o comportamento estomático, o potencial hídrico foliar e o teor relativo de água (TRA) de todos os tratamentos. A duração do estresse foi de 21 dias, quando foram quantificados os teores de prolina e de clorofila total. A partir de então, as plantas voltaram a ser irrigadas mantendo-se a capacidade de campo.

Nas Tabelas 1 e 2 encontram-se, respectivamente, a relação dos genótipos estudados e as médias de temperatura, umidade relativa do ar e radiação fotossinteticamente ativa nos dias de avaliação porométrica dos genótipos de amendoim.

Tabela 1. Descritores agrônômicos de genótipos de amendoim submetidos ao déficit hídrico durante a fase reprodutiva.

| Genótipo | Subespécie | Genealogia | HC | TS | FS | CS | IF (dae) | Ciclo (dae) | S/V |
|----------|------------|---------------|----|----|----|----|----------|-------------|-------|
| BR1 | fastigiata | cultivar | E | M | Ar | V | 24 | 85-89 | 3 – 4 |
| LViPE-06 | hypogaea | Land race | R | EG | Al | C | 35 | 120-125 | 1 – 2 |
| LBM * | fastigiata | Isolinha (F8) | M | M | Ar | B | 28 | 90-110 | 2 – 3 |
| LBR * | hypogaea | Isolinha (F8) | R | G | Al | B | 28 | 110-115 | 3 – 4 |

HC- habito de crescimento, E- ereto, M- moita, R- rasteiro, TS- tamanho das sementes, M- médio, G, grande, EG- extra grande; FS- forma das sementes, Al: alongada, Ar: arredondada, CS- cor das sementes, B- branca, C- creme, V- vermelha; IF- inicio da floração, dae- dias após a emergência., S/V- numero de sementes/vagens. * linhagens geradas a partir do cruzamento entre BR 1 (♀) x LViPE-06 (♂).

Tabela 2. Valores médios da temperatura (T), umidade relativa do ar (UR) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos períodos de avaliação porométrica dos genótipos de amendoim submetidos ao déficit hídrico durante a fase reprodutiva.

| Genótipos | 1ª SEMANA | | | 2ª SEMANA | | | 3ª SEMANA | | |
|-----------|-----------|------|---|-----------|------|---|-----------|------|---|
| | T | UR | PAR | T | UR | PAR | T | UR | PAR |
| | (°C) | (%) | ($\mu\text{mol.m}^{-2\text{s}^{-1}}$) | (°C) | (%) | ($\mu\text{mol.m}^{-2\text{s}^{-1}}$) | (°C) | (%) | ($\mu\text{mol.m}^{-2\text{s}^{-1}}$) |
| BR 1 | 32,7 | 49,9 | 507,6 | 31,9 | 52,1 | 558,1 | 33,9 | 50,8 | 754,4 |
| LBM | 33,7 | 51,9 | 434,8 | 33,9 | 53,4 | 625,7 | 34,3 | 50,5 | 670,7 |
| LBR | 32,7 | 54,7 | 647,6 | 33,4 | 47,9 | 591,9 | 33,6 | 49,3 | 507,0 |
| LViPE-06 | 31,3 | 61,9 | 558,7 | 33,9 | 55,7 | 747,3 | 32,0 | 60,6 | 368,9 |

Relações hídricas

O acompanhamento estomático das plantas de ambos os tratamentos foi realizado no horário entre 9 h - 11 h com o auxílio do porômetro de equilíbrio dinâmico (LI 1600, Licor Inc.), nas faces abaxial e adaxial de folhas totalmente expandidas, localizadas no terço superior da planta. O potencial hídrico foi determinado ao meio-dia, em folhas totalmente expandidas localizadas no terço superior da planta. A mensuração foi feita com auxílio da câmara de pressão de Scholander (Modelo 3035 da Soil Moisture Equipment Inc.), segundo a metodologia descrita por Scholander et al. (1965). O teor relativo de água (TRA) foi mensurado nas mesmas folhas coletadas para análise do potencial hídrico e a mensuração foi

feita com base no peso de seis discos foliares (Matéria Fresca - MF, Túrgida - MT e Seca - MS), de acordo com metodologia descrita em Weatherley (1950), utilizando-se a fórmula:

$$\text{TRA} = \frac{\text{MF} - \text{MS}}{\text{MT} - \text{MS}} \times 100$$

O teor de prolina dos genótipos foi estimado por espectrofotometria (Femto) a 520 nm, segundo metodologia descrita em Bates et al. (1973). O extrato foi obtido por meio de maceração de folhas na proporção de 1g / 4mL de tampão fosfato monobásico (100 mM) e EDTA (0,1 mM) (pH 7,0).

Pigmentos fotossintéticos

Para análise dos pigmentos fotossintéticos, preparou-se um extrato na proporção de 5mL de acetona (80%) e 50 mg de folhas totalmente expandidas, localizadas no terço superior da planta, segundo metodologia descrita em Arnon (1949). A quantificação foi feita em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 470, 645, 663 nm.

Análise de descritores relacionados com a produção

Ao final do ciclo de cada genótipo, as plantas foram colhidas e avaliadas quanto a alguns descritores relacionados com a produção de vagens. Os descritores mensurados foram: comprimento da raiz (CR), índice de colheita e índice de tolerância a seca (STI - Stress Tolerance Index). Para estimar o índice de colheita, calculou-se a porcentagem da relação do peso seco das vagens pelo peso seco total da planta. O índice de tolerância à seca de cada acesso foi calculado segundo metodologia descrita em Fernandez (1992), usando-se a fórmula:

$$STI = y_p \times y_s / (\bar{y})^2$$

Onde:

y_p : produção de vagens das plantas irrigadas;

y_s : produção de vagens das plantas estressadas;

$(\bar{y})^2$: quadrado da produção de vagens das plantas irrigadas de todos os genótipos.

Após coleta dos dados do material vegetal fresco, as plantas foram armazenadas em estufa a 65°C por 72 horas para mensuração do peso seco da planta (PL) e o peso seco das vagens (PSV). Os dados obtidos foram submetidos a ANOVA, com significância testada através do teste F e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relações hídricas

A suspensão de rega promoveu alterações expressivas e diferenciadas no comportamento estomático dos genótipos estudados. De modo geral, a resistência difusiva das plantas do tratamento controle de todos os genótipos manteve-se com valores relativamente baixos e estáveis durante as três semanas de avaliação, enquanto que nos acessos submetidos à suspensão de rega, foram detectados aumentos na resistência difusiva já na primeira semana para as plantas das linhagens LBM-Branco Moita/08 (superfície abaxial) e LViPE-06 (superfícies abaxial e adaxial) (Figura 1). A partir da segunda semana de estresse hídrico, todos os genótipos aumentaram significativamente a resistência da superfície abaxial, destacando-se a linhagem LBM-Branco Moita/08. Na adaxial, a resistência aumentou significativamente em LBM-Branco Moita/08 e LViPE-06. Na terceira semana, todos os genótipos apresentaram aumento da resistência na superfície adaxial. A resistência difusiva é uma variável fisiológica que aumenta exponencialmente com a diminuição da abertura do

poro estomático, que por sua vez controla tanto a absorção de CO₂ atmosférico quanto a perda do vapor d'água.

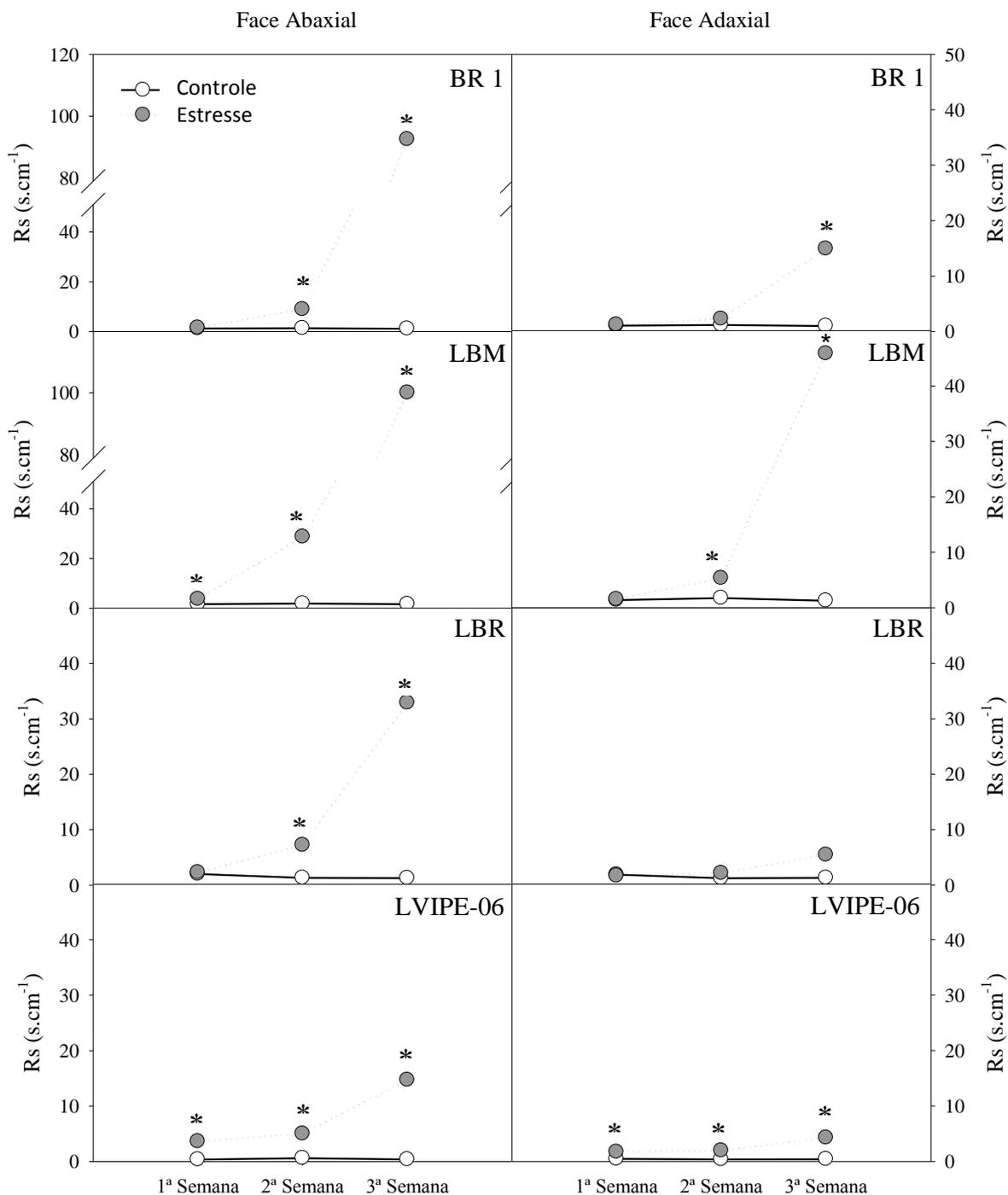


Figura 1. Valores médios da resistência difusiva (Rs) de genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. (*) Indica diferença estatística entre tratamentos ($p < 0,05$).

O fechamento temporário dos estômatos frente a uma situação de déficit hídrico é considerado uma adaptação modulativa que pode contribuir para a economia de água dos vegetais durante o período de déficit hídrico (Taiz e Zeiger, 2002).

A taxa de transpiração medida na superfície abaxial da linhagem LBM-Branco Moita/08 decaiu na primeira semana e na linhagem LViPE-06 decaiu em ambas as superfícies. Na segunda semana, todos os acessos apresentaram reduções significativas na transpiração nas superfícies abaxial e adaxial, com exceção da linhagem BR 1 que exibiu queda apenas na superfície adaxial (Figura 2). A partir da terceira semana, todas as linhagens exibiram queda na transpiração em ambas as superfícies foliares. Vale destacar que a linhagem LViPE-06 em condições de ótimo suprimento hídrico foi a que apresentou as maiores taxas transpiracionais. De acordo com Azevedo Neto et al. (2009), é comum que as reduções da transpiração ocorram logo na superfície abaxial, onde os estômatos fecham-se primeiro que na adaxial. Segundo estes autores, que submeteram cinco genótipos de amendoim a 20 dias de déficit hídrico, a redução na taxa de transpiração variou entre 89% e 94% na superfície abaxial.

Os efeitos do déficit hídrico sobre o potencial hídrico foliar e teor relativo de água (TRA) só foram observados a partir da segunda semana de suspensão de rega, inicialmente nas linhagens LBM-Branco Moita/08 e LBR-Branco Rasteiro/08, que diminuíram o seu potencial hídrico para -2,1 e -1,33 MPa, respectivamente (Figura 3A). Nesse período, o TRA na LBM-Branco Moita/08 foi reduzido em aproximadamente 23% e 31% em LViPE-06, na condição de estresse (Figura 3B). Aos 21 dias de déficit, o potencial hídrico de LBM-Branco Moita/08 e LBR-Branco Rasteiro/08 atingiu valores mais negativos, -2,93 e -1,88 MPa, respectivamente, sendo estes superior aos de seus progenitores, BR 1 e LViPE-06, que atingiram -1,78 e -1,04 MPa (Figura 3A). Nessa ocasião, as plantas LViPE-06, LBM-Branco

Moita/08 e LBR-Branco Rasteiro/08 submetidas ao estresse, apresentaram redução do TRA de, aproximadamente, 46%, 44% e 26%, respectivamente.

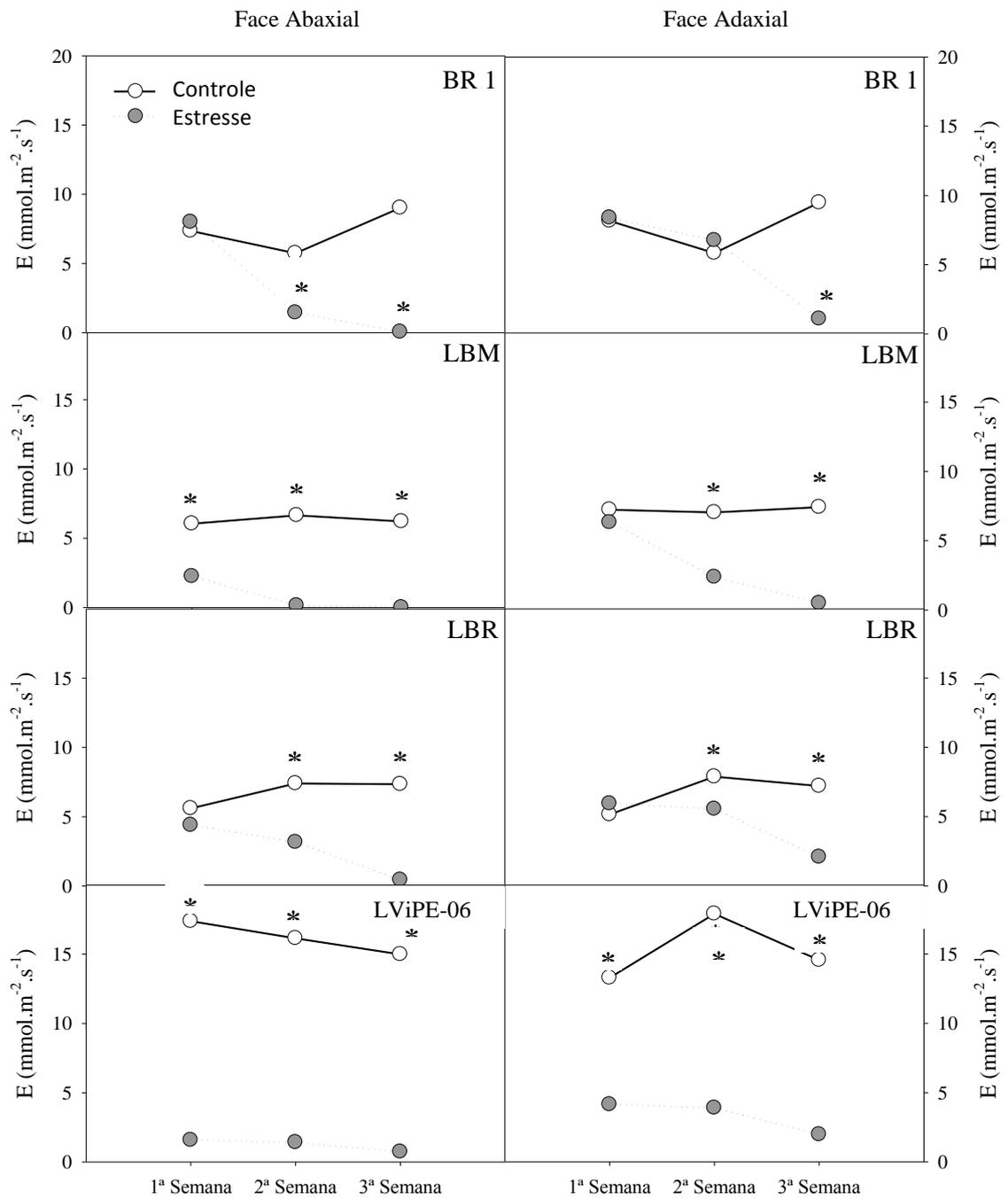


Figura 2. Valores médios da transpiração (E) de genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. (*) Indica diferença estatística entre tratamentos ($p < 0,05$).

O teor relativo de água é uma variável fisiológica que corresponde à quantidade de água presente no tecido, em um determinado instante, comparando com a máxima que ele pode reter (Cairo, 1995). A avaliação conjunta do TRA com o potencial hídrico foliar é bastante comum em estudos fisiológicos que visam avaliar o grau de deficiência hídrica de uma planta. Segundo Bergonci et al. (2002), o potencial hídrico foliar é considerado o principal componente que regula o fluxo de água no processo dinâmico de transporte no sistema solo-planta-atmosfera. A sua diminuição pode refletir um sintoma de déficit hídrico que é a perda de turgescência (redução no teor relativo de água) e/ou osmorregulação (acúmulo de íons, açúcares, prolina, etc.). Na cv. BR 1 não foram verificadas alterações significativas no TRA entre os tratamentos controle e estresse após 21 dias de suspensão de rega (Figura 3B). Tal comportamento sugere que mesmo em uma condição de déficit hídrico, a cv. BR 1 tem a capacidade de manter seus tecidos hidratados o suficiente para a realização das suas atividades metabólicas. Essa mesma resposta foi observada por Graciano (2009), ao submeter a cv. BR 1 a 43 dias de suspensão hídrica em condições de casa de vegetação.

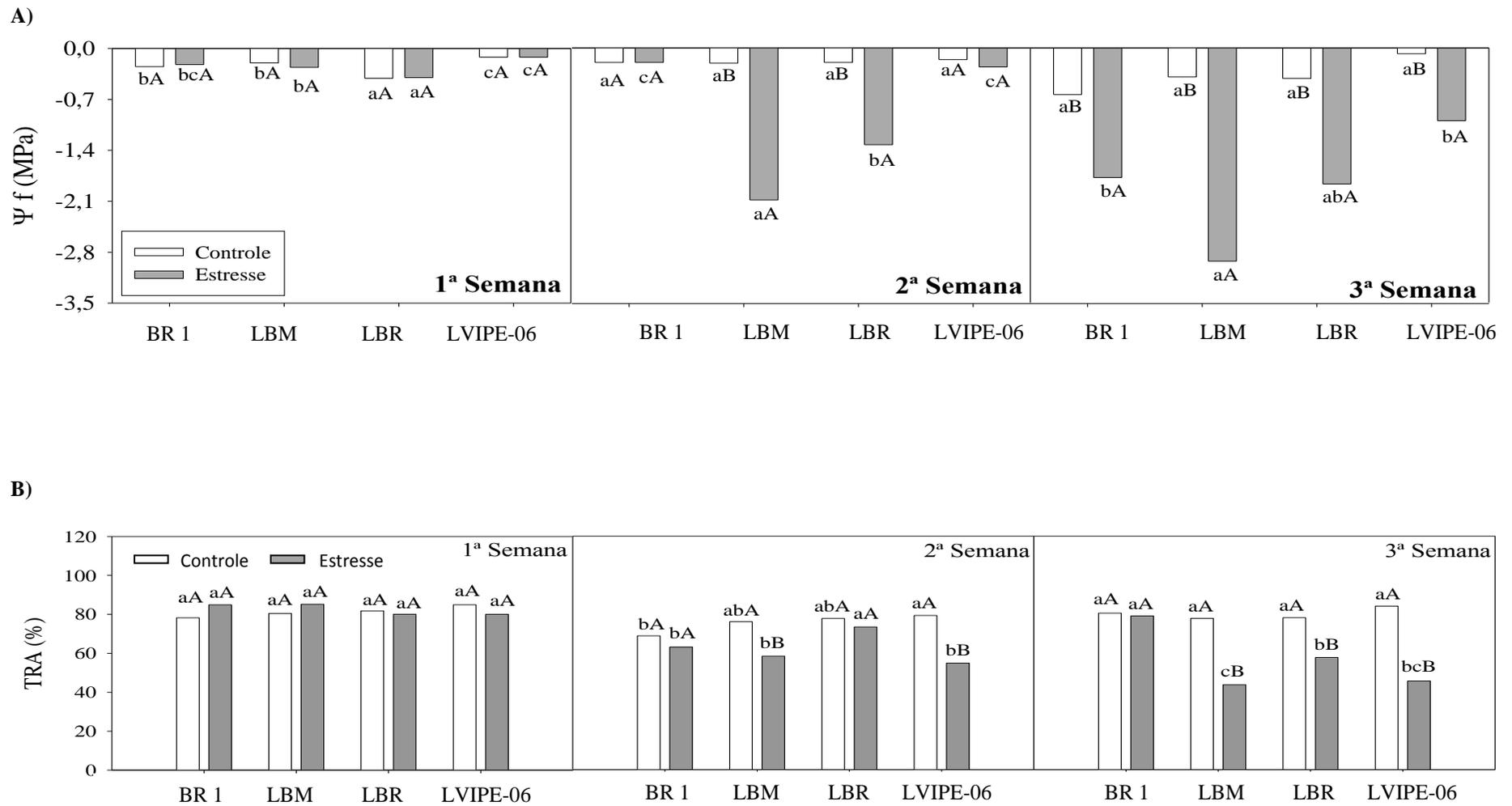


Figura 3. (A) Valores médios do potencial hídrico (Ψ_f) e (B) do teor relativo de água (TRA) em folhas de quatro genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. Letras iguais, maiúsculas entre tratamentos hídricos e minúsculas entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O ajustamento osmótico realizado pelas plantas é um meio de manter o potencial hídrico e a turgescência de suas células próxima ao nível adequado. Isso é realizado através da produção em altas concentrações de componentes que funcionam como osmorreguladores, dentre os quais o mais estudado é a prolina. O acúmulo de prolina em condições de estresse parece ser uma resposta comum não só em plantas, mas também em outros organismos, tais como, eubactérias, protozoários, invertebrados marinhos e algas (Delauney e Verma, 1993), nos quais o acúmulo de prolina parece estar ligado tanto ao aumento da síntese a partir do glutamato e ornitina, como ao decréscimo na oxidação (Hare e Cress, 1997). Solomon et al. (1994) destaca o papel da prolina no ajustamento osmótico entre as possíveis funções do acúmulo de prolina, mas salientam que este iminoácido também pode ter importância como reserva de carbono e nitrogênio após retirada do estresse, desintoxicação do excesso de amônia, estabilização das proteínas e /ou membranas e no seqüestro de radicais livres.

No presente trabalho, o acúmulo de prolina foi expressivo nas plantas submetidas à suspensão de rega, com aumento de 47,4, 27,5 e 25,3 vezes para LViPE-06, BR 1 e LBM-Branco Moita/08, respectivamente; o genótipo rasteiro LBR-Branco Rasteiro/08 apresentou menor acúmulo (7,2 vezes), comparando com os demais genótipos sob estresse. Em termos de concentração de prolina, destaca-se a linhagem LBM-Branco Moita/08, que acumulou 55,7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{MF}$ sob estresse, contra 2,2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{MF}$, na condição hídrica normal (Figura 4).

Quanto ao teor de clorofila total, não foi observada diferença expressiva entre os tratamentos aos 21 dias de estresse, com exceção da LViPE-06 que se mostrou mais sensível ao déficit hídrico (Figura 5). Segundo Arunyanark et al. (2008), a redução no teor de clorofila leva a uma redução na taxa da fotossíntese e está associada a reduções na produção de matéria seca da planta. Tais autores afirmam que a estabilidade do teor de clorofila em amendoim nas condições de estresse indica tolerância ao déficit hídrico.

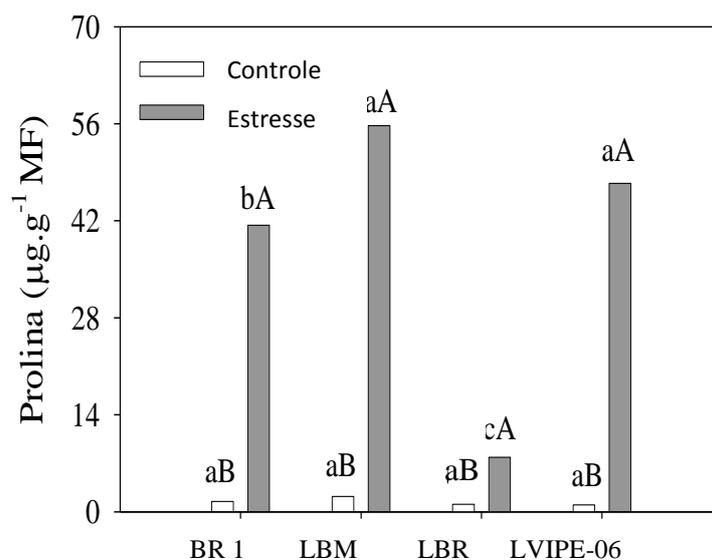


Figura 4. Valores médios do teor de prolina em folhas de quatro genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. Letras iguais, maiúsculas entre tratamentos hídricos e minúsculas entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

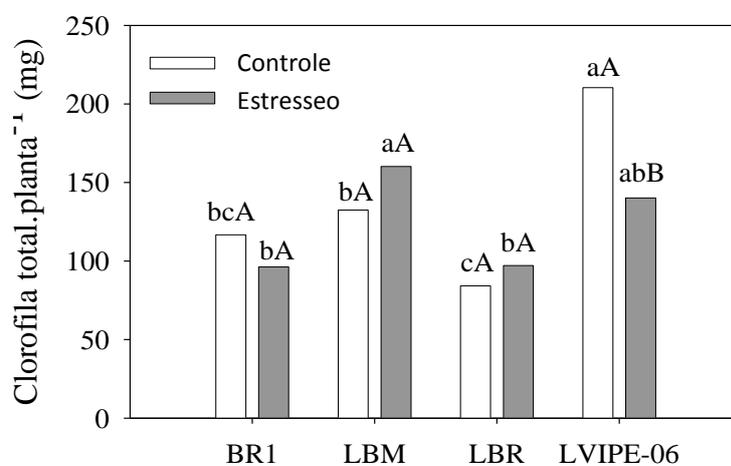


Figura 5. Valores médios do teor de clorofila total em folhas de quatro genótipos de amendoim submetidos à suspensão de rega. Letras iguais, maiúsculas entre tratamentos hídricos e minúsculas entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O amendoim é uma espécie vegetal que exhibe um grande número de respostas fisiológicas que lhe confere tolerância ao déficit hídrico, seja por promover o adiamento da dessecação dos tecidos (fechamento estomático, alteração na razão raiz: parte aérea, entre

outros.) seja por conferir tolerância à desidratação (ajustamento osmótico, defesas antioxidativas, etc.).

Analisando-se de forma generalizada os resultados obtidos por meio dos descritores fisiológicos, observa-se que os genótipos BR 1 e LBM-Branco Moita/08 apresentaram um maior conjunto de respostas fisiológicas que contribuem para o ganho de tolerância ao déficit hídrico, seguidos pela LViPE-06 e LBR-Branco Rasteiro/08. A linhagem LBM-Branco Moita/08 apresentou imediata resposta estomática (aumento da R_s já na primeira semana na superfície adaxial) e fechamento estomático na terceira semana (comportamento seguido pela BR 1). A LBM-Branco Moita/08 também foi a linhagem que apresentou valores mais negativos de Ψ_f já na segunda semana de estresse, seguida pela LBR-Branco Rasteiro/08; no entanto, apenas a LBM-Branco Moita/08 apresentou valores significativamente mais negativos que as demais linhagens na terceira semana de estresse. A cultivar BR 1, apesar de não exibir alterações mais drásticas no Ψ_f do que as demais linhagens testadas (LBR-Branco Rasteiro/08 e LViPE-06) ou até mesmo destacável acúmulo de prolina, conseguiu manter o TRA inalterado com a imposição do estresse. Esses altos valores de TRA indicam que a BR 1 pode manter um bom grau de hidratação dos tecidos necessário para a manutenção de outros processos fisiológicos vitais à planta. Tal fenômeno pode ser explicado, em parte, pelo aumento do sistema radicular observado nesta cultivar que foi de 18,4% (Tabela 3). Um aprofundamento do sistema radicular em condições de déficit hídrico garante um maior volume de solo a ser explorado para a obtenção de água, que associado a um bom controle da abertura estomática, pode adiar o processo de dessecação dos tecidos e postergar o início do dispendioso processo de acúmulo de solutos orgânicos (ajustamento osmótico).

Um aspecto interessante neste estudo, contudo, foi o comportamento observado na rasteira LViPE-06 que, nas condições deste trabalho, também revelou um alto acúmulo de prolina quando submetido ao déficit hídrico apesar de não ter conseguido manter um alto grau

de hidratação (baixo TRA) como a BR 1 e ter reduções do Ψ_f similar a BR 1 e LBR-Branco Rasteiro/08. Trabalhos prévios de Jharna et al. (2001) e Nogueira et al. (1998) apontam o acúmulo de prolina em conjunto com outras variáveis fisiológicas (estabilidade da nitrato redutase e redução do Ψ_f , respectivamente) como bons indicadores de tolerância à seca em cultivares de amendoim. No entanto, mais recentemente tem se discutido que a parcela de contribuição da prolina ao ajustamento osmótico em plantas sob condições de déficit hídrico pode ser mínima devido a sua baixa concentração em relação a outros solutos compatíveis, mas pode ter um papel mais importante como osmoprotetor de membranas e proteínas. Sánchez et al. (1998), avaliando os efeitos do déficit hídrico sobre a manutenção de turgor, ajustamento osmótico e acúmulo de prolina e açúcares em 49 cultivares de ervilha (*Pisum sativum*) verificaram que o acúmulo de prolina contribuiu em apenas 1% do ajustamento osmótico. Já Tatar e Gevrek (2008) avaliando o efeito do déficit hídrico em trigo sobre diversas variáveis fisiológicas sugerem que a prolina parece estar mais envolvida no processo de proteção contra o estresse oxidativo do que no ajustamento osmótico no início do estresse hídrico. Neste trabalho, a análise conjunta das demais variáveis fisiológicas sugere que este aumento na concentração de prolina na linhagem LViPE-06 (sensível) não proporcionou ganhos em termos de ajustamento osmótico.

Análise dos descritores relacionados à produção de grãos

Em resposta à baixa disponibilidade hídrica, algumas plantas buscam adaptar-se a tal condição por meio da expansão do sistema radicular para áreas mais profundas e úmidas do solo. No presente trabalho, BR1 e LBM-Branco Moita/08 apresentou melhor adaptação, cujo sistema radicular aumentou em 18,4% e 11,9%, respectivamente, enquanto que LViPE-06 e LBR-Branco Rasteiro/08 apresentaram menor crescimento quando comparadas com o

controle, a diferença foi de 11,2% e 9,7%, respectivamente (Tabela 3). Este resultado é relevante, pois demonstra a maior habilidade das plantas de porte ereto e do tipo moita em se adaptar a situações de baixa disponibilidade hídrica, aumentando a área de exploração para a absorção d'água e, conseqüentemente, suprir as necessidades básicas para garantir sua produção até o final do ciclo.

Em ambientes com baixa disponibilidade hídrica, as plantas revelam níveis diferenciados de impacto na sua produção, dependendo da intensidade e duração do estresse hídrico e da cultivar adotada. Para o amendoim, tal fato é mais crítico quando o estresse acontece na fase de floração e enchimento dos frutos, sendo os genótipos do tipo rasteiro mais sensíveis (Nogueira e Santos, 2000; Vorasoot et al., 2003). Neste estudo, verificou-se que o peso das vagens/planta foi reduzido em todos os genótipos quando sob déficit hídrico, sendo essa diminuição mais expressiva na rasteira LViPE-06, com perdas de 46,8% (Tabela 3).

O índice de colheita, que estima a capacidade efetiva de produção da cultura, teve menor redução nas plantas de porte ereto e moita, 7,3% e 10,9%, respectivamente, o que caracteriza um menor investimento das plantas na formação de biomassa e emissão de ginóforos, em função da prevenção da reserva de energia para finalizar o ciclo. Em plantas rasteiras, como a biomassa é naturalmente maior e o ciclo das plantas mais longo, o número de vagens formadas torna-se irregular, além de sementes mal formadas, afetando, conseqüentemente, a produção final. Neste trabalho, o impacto na redução do índice de colheita nas plantas rasteiras foi em torno de 21%, denotando certa sensibilidade das mesmas quando submetidas ao déficit hídrico (Tabela 3).

Segundo Fernandez (1992), a estimativa do índice de tolerância ao estresse (STI) permite identificar dentro de um grupo de genótipos, aqueles que mantêm níveis adequados de produção quando cultivados em condições de déficit hídrico. O STI é um índice que

comumente está sendo aplicado e recomendado para os trabalhos de melhoramento que visam obter genótipos tolerantes ao estresse hídrico. Este é um índice fácil de ser calculado, confiável e sua utilização contribui efetivamente nos processos de seleção (Nazari e Pakniyat, 2010; Rad et al., 2009; Saba et al., 2001). Clavel et al. (2004), que utilizaram o STI para avaliar seis cultivares de amendoim do tipo Spanish em condições de estresse natural, verificaram que a cultivar Fleur 11, considerada resistente à seca (Dramé et al., 2007), apresentou maior STI, com valor de 0,79. Segundo os mesmos autores, o STI quanto mais próximo de um, maior o nível de tolerância ao déficit hídrico.

No presente trabalho, verificou-se que a cultivar BR 1 teve o maior valor de STI, confirmando ser a mais adequada para manejo em condições de baixa disponibilidade hídrica. As linhagens LBR-Branco Rasteiro/08 e LBM-Branco Moita/08 situaram-se no mesmo grupo estatístico, com valores de 0,8 e 0,6, respectivamente, denotando terem também adaptação ao déficit hídrico. O resultado obtido com a LBM-Branco Moita/08 apresentou coerência com o que foi observado em nível fisiológico, entretanto, para a LBR-Branco Rasteiro/08, cujo valor de STI obtido foi de 0,8, observou-se que as respostas fisiológicas foram menos expressivas, especialmente quanto ao teor de prolina. Em condições de estresse, a prolina tem um importante papel no equilíbrio do estado redox das plantas. Por meio da síntese e degradação da prolina são produzidos NADP⁺ e NADPH, respectivamente. O acúmulo desse iminoácido proporciona NAD⁺ e NADP⁺ que são utilizados para a manutenção dos processos respiratórios e fotossintéticos, respectivamente (Verma, 1999; Verbruggen e Hermans, 2008). Logo, como é natural que uma planta produza e degrade a prolina concomitantemente, o seu acúmulo pode não ser constatado, o que não implica em um nível baixo de síntese. Neste caso, conclui-se que a contribuição genética do progenitor materno BR1 (cultivar tolerante) para a composição da isolinha LBR-Branco Rasteiro/08 foi mais expressiva no aspecto fenotípico que fisiológico.

Uma análise geral baseada nos descritores relacionados com a produção confirma-se a habilidade adaptativa da cultivar BR1 para manejo em ambientes com restrição hídrica. Além disso, pode-se constatar que esta cultivar é um excelente genótipo para ser utilizado em programas de melhoramento de amendoim para a região Nordeste do Brasil, visto que, muitas de suas características adaptativas a seca foram herdadas pelas suas progênies. Sob condições de déficit hídrico, a isolinha moita (LBM-Branco Moita/08) foi o acesso que teve as menores reduções nos descritores de produção e a isolinha rasteira (LBR-Branco Rasteiro/08) apresentou comportamento intermediário entre seus progenitores. Ambos materiais, dependendo dos propósitos do programa de melhoramento, parecem ser contributivos para futura síntese de cultivar, considerando-se sua riqueza com recurso genético.

Tabela 3. Características morfológica e agrônômica dos genótipos de amendoim, sob condições normais e de déficit hídrico.

| GENÓTIPOS | Raiz (cm) | | DC | Vagem/planta (g) | | DC | IC (%) | | DC | STI |
|-----------|-------------|-------------|--------|------------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------|---------|
| | C | E | (%) | C | E | (%) | C | E | (%) | |
| BR 1 | 32,7 (±2,9) | 38,7 (±3,4) | + 18,4 | 25,5 (±1,6) | 15,5 (±0,14) | - 39,2 | 34,8 (± 1,4) | 31 (± 1,8) | - 10,9 | 1,01 a |
| LBM | 40,4 (±4,1) | 45,2 (±1,5) | + 11,9 | 29,1 (±3,7) | 20,8 (±2,5) | - 28,5 | 38,2 (± 1,4) | 35,5 (±2,3) | - 7,3 | 0,60 b |
| LBR | 42,2 (±7,4) | 38,1 (±4,8) | - 9,7 | 54,8 (±4,2) | 35,3 (±1,6) | - 35,6 | 40,8 (±2,4) | 32,4 (± 2,7) | - 20,7 | 0,82 ab |
| LVIPE-06 | 44,7 (±2,9) | 39,7 (±2,6) | - 11,2 | 65 (±6,0) | 34,6 (±7,6) | - 46,8 | 43,8 (±2,6) | 33,8 (±1,7) | - 22,7 | 0,26 c |

C: controle; E: estresse; DC: diferença com relação ao controle; IC: índice de colheita; STI: índice de tolerância ao estresse. Letras iguais, maiúsculas entre tratamento hídrico e minúsculas entre genótipos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

CONCLUSÕES

As respostas fisiológicas e morfoagronômicas são bons critérios para a identificação e seleção de genótipos de amendoim tolerantes ao déficit hídrico. Entretanto, conclusões seguras são mais facilmente formuladas a partir da associação de ambos. No presente trabalho, a partir do estudo das relações hídricas e dos teores de prolina e clorofila estudada, foi possível observar e conhecer as respostas em nível de tolerância dos genótipos testados. As linhagens LBM-Branco Moita/08 e LBR-Branco Rasteiro/08, descendentes diretas da cultivar precoce BR 1, apresentaram mecanismos fisiológicos de adaptação às condições de baixa disponibilidade hídrica. A cultivar BR1 e a isolinha LBM-Branco Moita/08 mantiveram estável o teor de clorofila total e também apresentaram alterações como forma adaptativa em função do estresse, através da expansão do sistema radicular. A cultivar BR1 apresentou também maior STI, confirmando bom desempenho em todas as condições de cultivo. O valor do STI da LBR-Branco Rasteiro/08 e da LBM-Branco Moita/08 demonstrou que estas linhagens mantiveram um bom desempenho produtivo em ambientes com deficiência hídrica, sendo portanto, apontadas como fortes candidatas para futura síntese de cultivar indicada para manejo em regiões de clima semi-árido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arnon, D.I. (1949) Cooper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, *Plant Physiology*, 24, 1-15.

Arunyanark A., Jogloy S., Akkasaeng C., Vorasoot N., Kesmla T., Nageswara Rao R.C., Wright G.C., Patanothai A. (2008) Chlorophyll Stability is an Indicator of Drought Tolerance in Peanut, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 113-125.

Azevedo Neto A.D., Nogueira R.J.M.C., Melo Filho P.A., Santos R.C. (2009) Physiological and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit, *Journal of Plant Interactions*, 5, 1-10.

Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies, *Plant and Soil*, 39, 205-207.

Bergonci J.I., Pereira P.G. (2002) Comportamento do potencial da água na folha e da condutância estomática do milho em função da fração de água disponível no solo, *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10, 229-235.

Cairo P.A.R. (1995) Curso básico de relações hídricas de plantas. Vitória da Conquista: UESB, 32.

Clavel D., Sarr B., Marone E., Ortiz R. (2004) Potential agronomic and physiological traits of Spanish groundnut varieties (*Arachis hypogaea* L.) as selection criteria under end-of-cycle drought conditions, *Agronomy for Sustainable and Development*, 24, 2, 101-111.

Clavel, D., Diouf, O., Khalfaoui, J.L., Braconnier, S. (2006) Genotypes variations in fluorescence parameters among closely related groundnut (*Arachis hypogaea* L.) lines and their potential for drought screening programs, *Field Crops Research*, 96, 296–306.

Drame´ K. N., Clavel D., Repellin A., Passaquet C., Zuily-Fodil Y. (2007) Water deficit induces variation in expression of stress responsive genes in two peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars with different tolerance to drought, *Plant Physiology and Biochemistry*, 45, 236-243.

Delauney A. J., Verma D.P.S. (1993) Proline biosynthesis and osmoregulation in plants, *The Plant Journal*, 4, 2, 215-223.

Fernandez G. C. J. (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance, in: *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress Tolerance*. KUO, C. G. (Ed.), Asian Vegetable Research and Development Center: Taiwan. pp. 257-270.

Graciano E.S.A. (2009) Estudos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetidas à deficiência hídrica, Dissertação.

Hare P. D., Cress W.A. (1997) Metabolics implications of stress-induced proline accumulation in plants, *Plant Growth Regulation*, 21, 79-102.

Jharna D.E., Chowdhury B.L.D., Haque M.A., Bhuiyan M.R.H., Husain M.M. (2001) Biochemical Screening of Some Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Genotypes for Drought Tolerance, *Journal of Biological Sciences*, 1, 1009-1011.

Johari-Pireivatlou M., Qasimov N., Maralian H. (2010) Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines, *African Journal of Biotechnology*, 9, 1, 36-40.

Nazari L., Pakniyat H. (2010) Assessment of drought tolerance in barley genotypes, *Journal of Applied Sciences*, 10, 2, 151-156.

Nogueira R.J.M.C., Santos R.C., Bezerra Neto E., Santos V.F. (1998) Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33, 12, 1963-1969.

Nogueira R.J.M.C., Santos R.C. (2000) Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4, 1, 41-45.

Painawadee M., Jogloy S., Kesmala T., Akkasaeng C., Patanothai A. (2009) Identification of traits related to drought resistance in Peanut (*Arachis hypogaea* L.), *Asian Journal of Plant Sciences*, 8, 2, 120-128.

Porch T.G., Ramirez V.H., Santana D., Harmsen E.W. (2009) Evaluation of Common Bean for Drought Tolerance in Juana Diaz, Puerto Rico, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195, 328-334.

Rad M.R.N., Ghasemi A., Arjmandinejad A. (2009) Study of limit irrigation on yield of lentil (*Lens culinaris*) genotypes of national plant gene bank of Iran by drought resistance indices, *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 6, 3, 352-355.

Saba J., Moghaddam M., Ghassemi K., Nishabouri M.R. (2001) Genetic properties of drought resistance indices, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3, 43-49.

Sánchez F.J., Manzanares M., Andres E.F., Tenorio J.L., Ayerbe L. (1998) Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress, *Field Crops Research*, 59, 225-235.

Scholander P.F., Hammel H.T., Hemmingsen E.A., Bradstreet E.D. (1965) Sap pressure in vascular plants, *Science*, 148, 339-346.

Solomon A., Beer S., Waisel G., Jones P., Paleg L.G. (1994) Effects of NaCl on the carboxylating activity of Rubisco from *Tamarix jordanis* in the presence and absence of proline-related compatible solutes, *Physiologia Plantarum*, 90, 198-204.

Taiz L., Zeiger E. (2006) *Plant physiology*. 4th.ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers,. Massachusetts, 764.

Tatar O., Gevrek M.N. (2008) Influence of water stress on proline accumulation, lipid peroxidation and water content of wheat, *Asian Journal of Plant Sciences*, 7, 409-412.

Verbruggen N., Hermans C. (2008) Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35, 753–759.

Verma D.P.S. (1999) Osmotic stress tolerance in plants: Role of proline and sulfur metabolisms, in: Shinozaki K. e Yamaguchi-Shinozaki K. (Eds.) *Molecular Responses to Cold, Drought, Heat and Salt Stress in Higher Plants*. Landes Company. Texas, pp. 153–168.

Vorasoot N., Songsri P., Akkasaeng, C., Jogloy S., Patanothai A. (2003) Effect of water stress on yield and agronomic characters of peanut, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 25, 3, 283-288.

Zlatev Z. S. (2005) Effects of water stress on leaf water relations of young bean plants, *Journal of Central European Agriculture*, 6, 1, 5-14.

Weatherley P.E. (1950) Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficit in leaves, *New Phytologist*, 49, 81-97.

CONCLUSÕES GERAIS

1 – A identificação de genótipos de amendoim tolerantes ao déficit hídrico, avaliada com base no estudo das respostas fisiológicas, é mais segura quando se associa os resultados fisiológicos aos resultados agronômicos.

2 – A avaliação da concentração de prolina para identificação de genótipos de amendoim tolerantes ao déficit hídrico, não é um caráter seletivo seguro se estudado isoladamente.

3 – O STI provou ser um parâmetro adequado para auxiliar na seleção de genótipos de amendoim tolerantes ao déficit hídrico.

ANEXOS

NORMAS DA REVISTA

Agronomy for Sustainable Development

Submission and preliminary selection

All manuscripts should be submitted electronically in PDF format to the Editor in-Chief, together with a list of 6 potential reviewers, including postal and email addresses. An Advisory Board will evaluate the research articles before sending them for in-depth review. About 60% of submitted articles are declined at this stage. The novelty versus current knowledge of the major result should be clearly explained in the cover letter, the abstract, the results and discussion, and the conclusion sections. The findings should be located at the interface of Agriculture and Sustainable Development: see Aims and Scope for specific topics. Agronomy for Sustainable Development publishes *research articles* and *review articles*. Review articles on a particularly hot subject may be suggested to the Editor-in-Chief.

Text and sections

For submission, the corresponding author should send two PDF files to agronomy@supagro.inra.fr: (1) the full article including figures and tables in the body text, entitled "NAM.pdf", where NAM refers to the three first letters of the first author last name; and (2) a cover letter containing the article title, the name of authors, a paragraph describing the claimed novelty of the findings versus current knowledge, and a list of six suggested, international reviewers (title, name, postal address, E-mail address). At the acceptance stage, the formats required are RTF and/or DOC for the text. Figures in high resolution (> 600 dpi)

should also be sent as separate files using (in preferred order) EPS, TIF or JPG formats. The name of all files should include the reference given by the Editorial Office, e.g. "A2044.rtf" (for the text) "A2044F1.tif" (for Figure 1), and "A2044F2.jpg" (for Figure 2). . . The title should be short and focussed on the main scientific discovery. The English style and figure quality should be excellent. Abbreviations should be kept to a minimum. The main scientific point of the figures should be explained to the reader in figure captions. The text length is limited to 25 pages, including figures, tables and references. The number of tables plus figures is limited to 10. The number of literature references is limited to 30, except for review articles. All text should be written in a concise and integrated way, by focusing on major points, findings, breakthrough or discoveries, and their broad significance. All running text should be in Times 12 or Times New Roman 12, double-spacing. Figure and table captions should be written in Times 10 or Times New Roman 10. Figures, tables and their captions should be included in the running text of the article. Every page of the manuscript, including the title page, references, tables, etc. should be numbered. The article should include:

- First page: article title; name of authors (an asterisk "*" should highlight the corresponding author); postal addresses; E-mail address of the corresponding author; abstract (less than 300 words); keywords (maximum 10).
- Next pages: 1. Introduction, 2. Materials and methods, 3. Results and discussion, 4. Conclusion, and 5. References. Other sections such as annexes and appendices are not recommended.

Abstract

The abstract should report concisely on the main scientific breakthrough. The abstract should preferably not contain general statements, and literature references.

Abbreviations

Abbreviations should be avoided or kept to a minimum. All abbreviations should be spelled out the first time they are used.

Footnotes

Footnotes in the running text and in tables are not accepted. Table footnotes should be included in the table caption.

Figures and tables

Figures and tables should be of high quality. A “scheme” should be named “figure”. A figure should be drawn to highlight a novel scientific point. Tables and figures and their captions should be included in the running text of the article. Figure captions should contain a brief description of the main scientific point of the figure, using 1–2 well-thought sentences: a figure should be almost understandable without reading the main body text of the article. The characters should be in Times or Times New Roman with an appropriate size to be readable after 50% reduction. The titles of figure and axes should be bold. The Y-axis title should be written horizontally at the above-left of the graph. Example of axis title: “Concentration (mg/L)”. Preferably, a graph should contain a maximum of 3 curves. Symbol legends are not accepted: the name of a curve

should be written in the graph, beside the corresponding curve, using arrows if necessary. The following types of figure are not recommended: bar graphs, 3D figures, and figures using 2 Y-axes. In the paper version of the journal, figures are in black and white (for color, authors should make a contribution, prices on request), but they appear in color in the electronic version.

References

References to web addresses and unpublished articles, are not accepted. References should be given to international journals and books. In the text, references should be cited by author and year, e.g. “(Brown, 2001)”, “(Brown and Smith, 2001)”, “(Brown et al., 2003)”, “. . . as reported by Brown et al. (2001)”. References should be listed in alphabetical order in the reference list.

Examples:

Journal articles:

Clergue B., Amiaud B., Pervanchon F., Lasserre-Joulin F., Plantureux S. (2005) Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. A review, *Agron. Sustain. Dev.* 25, 1–15. DOI: 10.1051/agro:2004049.

Xuan T.A., Elzaawely A.A., Deba F., FukutaM., Tawata S. (2006) Mimosine in *Leucaena* as a potent bio-herbicide, *Agron. Sustain. Dev.* 26, 89–97. DOI: 10.1051/agro:2006001.

Books:

Henze M., Harremoës P., Cour Jansen J.I., Arvin E. (2002) Wastewater treatment, Springer, Berlin.

Book chapters:

Bird G.W. (2003) Role of integrated pest management and sustainable development, in: Maredia K.S., Dakouo D., Mota-Sanchez D. (Eds.), Integrated Pest Management in the Global Arena. CABI Publishing, Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 73–85.

Huang P.M. (1990) Role of soil minerals in transformations of natural organics and xenobiotics in soil, in: Bollag J.M., Stotzky G. (Eds.), Soil biochemistry, Marcel Dekker, New York, pp. 29–115.

Edited books:

Bollag J.M., Stotzky G. (1990) (Eds.) Soil biochemistry, Marcel Dekker, New York.