

**COMPONENTES DE PRODUÇÃO E FISIOLÓGICOS EM
ECÓTIPOS DE *VIGNA* SOB REPOSIÇÃO HÍDRICA**

ÁLLISSON RAFAEL FERREIRA DA SILVA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO DE 2014

**COMPONENTES DE PRODUÇÃO E FISIOLÓGICOS EM
ECÓTIPOS DE *VIGNA* SOB REPOSIÇÃO HÍDRICA**

ÁLLISSON RAFAEL FERREIRA DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre (M.Sc.) em Ciências Agrárias/Área de concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Henrique S. Gadelha Meneses

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO DE 2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

S586c Silva, Állisson Rafael Ferreira da.
Componentes de produção e fisiológicos em ecotipos de vigna sob reposição hídrica [manuscrito] / Állisson Rafael Ferreira da Silva. - 2014.
86 p. : il. color.

Digitado.
Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, 2014.
"Orientação: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo, Departamento de Ciências Agrárias".
"Co-Orientação: Prof. Dr. Carlos Henrique S. Gadelha Meneses, Departamento de Ciências Agrárias".

1. Cultivo do feijão. 2. Agricultura familiar. 3. Reposição hídrica. I. Título.

21. ed. CDD 635.652


**COMPONENTES DE PRODUÇÃO E FISIOLÓGICOS EM
ECÓTIPOS DE *VIGNA* SOB REPOSIÇÃO HÍDRICA**

ÁLLISSON RAFAEL FERREIRA DA SILVA

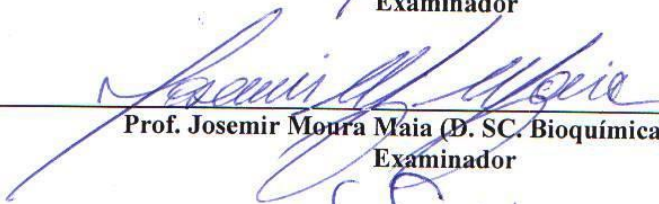
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre (M.Sc.) em Ciências Agrárias/Área de concentração: Agrobioenergia e Agricultura Familiar.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2014


Banca Examinadora



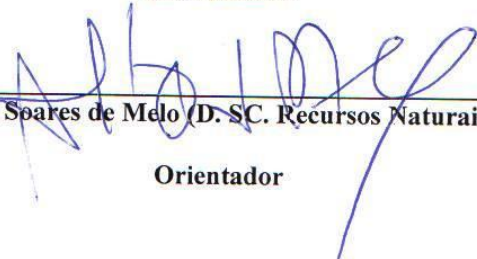
Prof. Marcos Eric Barbosa Brito (D. SC. Engenharia Agrícola) - UFCG
Examinador



Prof. Josemir Moura Maia (D. SC. Bioquímica) - UEPB
Examinador



Prof. Carlos Henrique S. Gadelha Meneses (D. SC. Biotecnologia Vegetal) - UEPB
Coorientador



Prof. Alberto Soares de Melo (D. SC. Recursos Naturais) - UEPB
Orientador

A Deus, a meus pais Ariston Custódio da Silva e Maria do Socorro Ferreira da Silva, aos meus irmãos Airton e Anselmo, minha namorada Nyanne e a minha segunda mãe Noêmia Pereira.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pela proteção, saúde, força para estudar, fé, coragem e entusiasmo para recomeçar a cada dia, almejando maiores oportunidades profissionais;

Aos meus pais Ariston Custódio da Silva, Maria do Socorro Ferreira da Silva, mesmo distantes, pelo amor, incentivo, dedicação e presença constante em minha vida; tudo fazendo para me proporcionar boa educação, formação e para alcançar esse objetivo;

A minha segunda mãe Noêmia Pereira, pela força e incentivo aos meus estudos;

Aos meus irmãos Airton e Anselmo, incentivo e eterno laços de amizade;

Ao meu sobrinho Luiz Eduardo, sorriso e alegria a cada vez que o vejo;

Em especial, agradeço à minha namorada Maria Nyanne Dias, fundamental em todos os momentos, apoiando e tendo paciência nas horas mais difíceis;

À Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, pela aprendizagem e oportunidades concedidas;

Ao orientador Alberto Soares de Melo, MUITO OBRIGADO pelo incentivo, por acreditar no meu trabalho e a sua insistência em me passar o seu conhecimento;

Ao professor Carlos Henrique Gadelha Meneses pelos ensinamento e companheirismo.

Aos professores do Mestrado em Ciências Agrárias: Pedro Dantas, Germano Vêras, Napoleão Beltrão, Alberto Soares de Melo, Roseane C. dos Santos e Raimundo Andrade, pelos ensinamentos passados durante o período das disciplinas.

A todos os amigos e funcionários do Campus IV da UEPB.

À Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, sempre apoiando e incentivando no que for preciso nos programas de pós-graduação.

Os secretários do Mestrado em Ciências Agrárias Hernandes e Danilo que sempre atendiam as minhas solicitações.

À Universidade Estadual da Paraíba e à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade de realização do curso.

À Embrapa Algodão, por ajudar na realização de experimentos e conceder experiência.

A CAPES pela bolsa de estudo concedida.

A toda UEPB Campus I – Campina Grande.

Aos meus amigos Izaac, Juninho, Alexson, Welison, Anselmo, Luana, Flaviana, Janivan e Edgar pela amizade, paciência, companheirismo e bom humor durante o mestrado;

Aos amigos da Pós-graduação: Demetrius, Angelica, Talita, Bronzeado, Alexandre, Kátia, Gessica, Victor, Yuri e Vandeir, e a todos que conviveram comigo na UEPB, pelos momentos de trabalho, alegria, colaboração e companheirismo;

Aos meus companheiros de casa Anderson e Ciro;

Enfim a todos os meus amigos e familiares que contribuíram diretamente ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“Tudo o que somos nasce com nossos pensamentos. Em nossos pensamentos, fazemos o nosso mundo”

Buda

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE TABELAS | x |
| LISTA DE FIGURAS | xii |
| RESUMO | xv |
| ABSTRACT | xvii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1. Objetivo Geral | 3 |
| 2.2. Objetivos Específicos | 3 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 3.1. Aspectos Gerais da Cultura do Feijoeiro | 4 |
| 3.1.1. Origem e Classificação Botânica | 4 |
| 3.1.2. Características Morfológicas | 4 |
| 3.1.3. Aspectos Socioeconômicos e Nutricionais | 5 |
| 3.1.4. Irrigação na Cultura de Feijão | 6 |
| 3.1.5. Necessidade Hídrica | 6 |
| 3.1.6. Estresse Hídrico | 7 |
| 3.1.7. Mecanismos de tolerância ao estresse hídrico | 8 |
| 3.1.7.1. Acúmulo de açúcares ou solutos compatíveis no ajustamento osmótico | 8 |
| 3.1.7.2. Trealose | 8 |
| 3.1.7.3. Prolina Livre | 8 |
| 3.1.7.4. Glicina - Betaína | 9 |
| 3.1.8. Enzimas Antioxidantes | 10 |
| 3.1.8.1. Catalase | 10 |
| 3.1.8.2. Superóxido dismutase | 10 |
| 3.1.8.3. Ascorbato peroxidase | 11 |
| 3.1.9. Relação entre pigmentos fotossintéticos e deficiência hídrica | 11 |
| 3.1.9.1. Clorofila a e b | 12 |
| 3.1.9.2. Carotenóides | 12 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1. Localização do experimento, solo e clima | 13 |
| 4.1. Características das cultivares utilizada | 16 |
| 4.2. Tratamentos e delineamento estatístico..... | 16 |
| 4.3. Preparo do solo..... | 16 |
| 4.4. Manejo da Irrigação | 17 |
| 4.4.1. Cálculo da Lâmina Bruta..... | 18 |
| 4.4.2. Cálculo da Intensidade de Aplicação | 19 |
| 4.4.3. Cálculo do Tempo de Irrigação | 19 |
| 4.5. Variáveis Analisadas | 19 |
| 4.5.1. Área Foliar e Matéria Seca | 19 |
| 4.5.2. Trocas Gasosas | 20 |
| 4.5.3. Caracterização Bioquímica | 21 |
| 4.5.4. Variáveis de Produção | 23 |
| 4.6. Análise Estatística | 24 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 25 |
| 5.1. Massa seca e Área foliar..... | 25 |
| 5.2. Variáveis Fisiológicas (Trocas Gasosas)..... | 32 |
| 5.3. Variáveis Bioquímicas | 36 |
| 5.4. Variáveis de Produção..... | 48 |
| 5.5. Correlação de variáveis | 51 |
| 6. CONCLUSÕES | 54 |
| 7. REFERÊNCIAS | 55 |

LISTA DE TABELAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabela 1. Valores da análise físico-hídrica do solo da área experimental do Setor de Fruticultura e Ecofisiologia Vegetal (UEPB). Catolé do Rocha/PB, 2014..... | 14 |
| Tabela 2. Valores da análise química do solo da área experimental do Setor de Fruticultura e Ecofisiologia Vegetal (UEPB). Catolé do Rocha/PB, 2014..... | 14 |
| Tabela 3. Características das cultivares de feijão <i>Vigna</i> | 16 |
| Tabela 4. Valores de coeficiente da cultura (K_c) que foram utilizados nas diferentes fases de desenvolvimento do feijoeiro <i>Vigna</i> de acordo com as lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento. | 17 |
| Tabela 5. Resumo das análises de variância referente às variáveis massa seca das folhas (MSF) (g), massa seca do caule (MSC) (g), massa seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF) aos 20, 27, 34, 41 e 48 dias após semeadura (DAS) em genótipos de feijão <i>Vigna</i> sob aplicação de lâminas de irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014. | 25 |
| Tabela 6. Resumo das análises de variância para as variáveis de Concentração Interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), Condutância Estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Fotossíntese Líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Eficiência Instantânea do uso da água (EiUA) [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1})^{-1}$] e Eficiência Instantânea de Carboxilação (EiC) [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] em genótipos de feijão <i>Vigna</i> . Catolé do Rocha/ PB, 2014..... | 32 |
| Tabela 7. Resumo das análises de variância para as variáveis bioquímicas: prolina (PRO), glicina (GLI), trealose (TER), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbado peroxidase (APX), clorofila A (ClorA), clorofila B (ClorB) e carotenóides (Carat) em folhas de genótipos de feijão <i>Vigna</i> sob estresse de 24 horas e reidratação com as lâminas. Catolé do Rocha/PB, 2014. | 36 |

Tabela 8. Resumos das análises de variância para o comprimento de vagens verdes (CVV), massa de vagens verdes (MVV), número de grãos verdes (NGV) e massa de grãos verdes (MGV) de genótipos de feijão *Vigna* sob lâminas de irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014. 49

Tabela 9. Matriz de correlação entre as variáveis estudadas. Catolé do Rocha/PB, 2014. 53

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Mapa político do município de Catolé do Rocha/PB, onde foi conduzido o estudo. Campina Grande, PB, 2014. | 13 |
| Figura 2. Dados climáticos de temperatura máxima e mínima do ar (°C dia-1), umidade relativa do ar (%) e radiação solar (MJ dia-1) durante a condução do experimento. *Data de semeadura das cultivares; **Início da colheita das vagens verdes. 2012, Catolé do Rocha, PB. | 15 |
| Figura 3. Preparo do solo com grade aradora (A) e niveladora (B). Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra | 17 |
| Figura 4. Aferição da área foliar (A) e pesagem do material seco em balança de precisão (B). Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra | 20 |
| Figura 5. Aferição das trocas gasosas nas plantas de feijão <i>Vigna</i> . Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra | 21 |
| Figura 6. Folhas de cada Genótipo embaladas em papel alumínio. Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra | 21 |
| Figura 7. Pesagem de vagem (A), mensuração do comprimento de vagem (B), contagem do número de grãos por vagem (C) e aferição do peso de grãos verdes. Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra | 24 |
| Figura 8. Massa seca das folhas (A, B e C) e do caule (D, E e F) para os genótipos de feijão <i>Vigna</i> ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’ em função do tempo. Catolé do Rocha/PB, 2014. | 28 |

- Figura 9. Massa seca da parte aérea (A, B e C) e área foliar por planta (D, E e F) para os genótipos de feijão *Vigna* ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’ em função do tempo. Catolé do Rocha/PB, 2014. 29
- Figura 10. Massa seca (MS) (g) (A, B e C) e área foliar por planta (AF) (cm²) (D, E e F) para os genótipos de feijão *Vigna* ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’ em função das lâminas aos 48 DAP. Catolé do Rocha/PB, 2014. 31
- Figura 11. Concentração interna de carbono (Ci) (A), condutância estomática (*gs*) (B), fotossíntese líquida (A) (C), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) (D) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) (E) sob lâminas de irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014. 35
- Figura 12. Teor de prolina em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014. 38
- Figura 13. Teor de glicina betaína em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014. 39
- Figura 14. Teor de trealose em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014. 40
- Figura 15. Atividade enzimática da SOD em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014. 42
- Figura 16. Atividade enzimática da catalase (CAT) em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014. 43
- Figura 17. Atividade enzimática da Peroxidase (APX) em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014. 44

- Figura 18. Concentração de clorofila A em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014..... 45
- Figura 19. Concentração de clorofila B em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014..... 46
- Figura 20. Concentração de carotenóides em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014..... 48
- Figura 21. Comprimento de vagens verdes (A), massa de vagens verdes (B), número de grãos por vagem (C) e massa de grãos verdes (D) de genótipos de feijão *Vigna* sob lâminas de irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014..... 51

RESUMO

SILVA, ÁLLISSON RAFAEL FERREIRA DA M.Sc., Universidade Estadual da Paraíba/Embrapa Algodão, fevereiro de 2014. **Componentes de produção e fisiológicos em ecótipos de *Vigna* sob reposição hídrica.** Campina Grande, PB, 2014. 84p. Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Agrárias). Orientador: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo. Coorientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Gadelha Menezes.

O feijão *Vigna* ou feijão-caupi é uma cultura de grande importância socioeconômica para a região Nordeste, onde seu cultivo é praticado, principalmente, na agricultura familiar. Nessa região, devido o recurso água ser limitado, é freqüente a ocorrência de deficiência hídrica nas plantas, o que provoca diminuição da produtividade, justamente por inviabilizar o processo fotossintético. Nesse sentido, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o crescimento, variáveis fisiológicas e bioquímicas e a produção de genótipos de feijão *Vigna* sob níveis de reposição da irrigação. A pesquisa foi realizada na área experimental do Setor de Fruticultura e Ecofisiologia Vegetal, Campus IV, da Universidade Estadual da Paraíba, no município de Catolé do Rocha-PB. O experimento foi constituído por um estudo de três genótipos de feijão *Vigna* (G1 = BRS Aracé, G2 = BR 17 Gurgueia e G3 = BRS Marataoã) e quatro lâminas de irrigação (40, 60, 80 e 100% da ETc), que ao combinados, resultou em um fatorial 3 x 4, organizado no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Foram avaliadas variáveis de crescimento (área foliar e partição de fitomassa), fisiológicas (trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*), bioquímicas (solutos orgânicos e enzimas antioxidantes) e de produção (peso de vagens, comprimento de vagens, número de grãos por vagem e peso de grãos verdes). A cultivar de feijão *Vigna* ‘BRS Marataoã’ possui ação osmoprotetora elevada quando o déficit hídrico é intenso, resultando em melhor recuperação dos tecidos após a reidratação. As características bioquímicas dos genótipos de feijão *Vigna* ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurgueia’ e ‘BRS Marataoã’ respondem positivamente com o aumento da disponibilidade de água no solo. Entre os genótipos de

feijão, o 'BRS Marataoã' destaca-se quanto à produtividade com maiores valores para peso de vagem e grãos verdes.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, reposição hídrica, trocas gasosas, solutos orgânicos.

ABSTRACT

SILVA, ÁLLISSON RAFAEL FERREIRA DA M.Sc., State University of Paraíba/Embrapa Cotton, February 2014. **Components of production and physiology in ecotypes *Vigna* under fluid replacement.** Campina Grande, PB, 2014. 84p. Dissertation (Graduate Agricultural Sciences). Major professor: Prof. Dr. Alberto Soares de Melo and Prof. Dr. Carlos Henrique Gadelha Meneses.

The *Vigna* beans or cowpea is a crop of great socioeconomic importance for the Northeast region, where its cultivation is usually practiced by family farmers. In this region, the water resource, is limited is the frequent occurrence of drought stress in plants, which causes decreased productivity, precisely because derail the photosynthetic process. In this sense, the objective was with this work was to evaluate the growth , physiological and biochemical variables and production of beans *Vigna* genotypes under levels of irrigation. The research was conducted in the experimental area of the Department of Fruit Crops and Plant Ecophysiology, Campus IV, the State University of Paraíba, in the city of Catolé do Rocha- PB. The experiment consisted of a study of three genotypes *Vigna* (G1 = BRS Aracé, G2 = BR17 Gurguéia and G3 = BRS Marataoã) and four irrigation levels (40, 60, 80 and 100% of ETC), which the be combined, resulted in a 3 x 4 factorial arranged in randomized blocks with four replicates. Growth variables (leaf area and dry matter partition), physiological (gas exchange and chlorophyll fluorescence), biochemical (organic solutes and antioxidant enzymes) and production (weight of pods, pod length, number of grains were evaluated by pod and weight of green beans). The *Vigna* ‘BRS Marataoã’ has high osmoprotetora action when the drought is intense, resulting in better tissue recovery after rehydration. The biochemical characteristics of *Vigna* genotypes ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurguéia’ and ‘BRS Marataoã’ respond positively to the increased availability of soil water. Among

the genotypes, the 'BRS Marataoã' stands out for productivity with the highest weight of pods and green beans.

Keywords: *Vigna unguiculata*, fluid replacement, gas exchange, organic solutes.

1. INTRODUÇÃO

O feijão *Vigna (Vigna unguiculata L.)*, também conhecido como feijão-de-corda ou feijão-macassar, constitui-se a principal cultura de subsistência das regiões Norte e Nordeste do Brasil, destacando-se como principal fonte de proteína na dieta alimentar da população nordestina. Devido à boa adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas do Brasil, o feijoeiro faz parte da maioria dos sistemas produtivos dos pequenos e médios produtores, cuja produção é direcionada ao consumo familiar e à comercialização do excedente para sua subsistência. Recentemente, o feijoeiro passou a ser cultivado também no período seco sob irrigação, atraindo médios e grandes produtores, geralmente usuários de tecnologias (NASCIMENTO et al., 2011).

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão, com produção aproximada de 3,5 milhões de toneladas (MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2012). Ressalte-se que no ano agrícola de 2010/2011, a produção Brasileira de feijão foi de 3,7 milhões de toneladas com produtividade de 935 kg ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2012), considerada baixa quando relacionada ao potencial produtivo das variedades existentes, devido ao uso de sementes não melhoradas, cultivos em solos de baixa fertilidade, precipitações pluviométricas irregulares bem como tecnologias que viabilizem à melhoria no desenvolvimento da cultura (ALVAREZ et al., 2005; PAVANI et al., 2009).

No Nordeste brasileiro, observa-se características climáticas proeminentes, ressaltando-se as chuvas concentradas em pequenos períodos do ano, a baixa umidade do ar e as elevadas temperaturas. No município de Catolé do Rocha-PB, por exemplo, inserida na bacia hidrográfica do Rio Piranhas, as elevadas taxas de evapotranspiração associadas às irregularidades das chuvas têm provocado déficits hídricos estacionais, constituindo-se em um dos principais fatores limitantes no rendimento das culturas, principalmente do feijoeiro que demanda água de forma distinta durante as fases de crescimento, desenvolvimento e enchimento dos grãos (FERRAZ et al., 2011). Nessa região, as estratégias de manejo da irrigação associadas à resistência das culturas à seca

e a utilização de espécies tolerantes ao estresse hídrico, podem ser alternativas de produção das culturas sob escassez de água (FIGUEIREDO et al., 2008).

Nestas condições, fica evidente a necessidade de estudos, visando à identificação de genótipos adaptados a condições edafoclimáticas distintas, para que se tenham resultados positivos no cultivo, obtendo assim melhorias na produção e maior lucratividade aos produtores (LEMOS et al., 2004). Segundo Floss (2004), cerca de 90% da produção biológica das plantas ocorre em resposta à atividade fotossintética e que 60% da produção mundial de feijão vêm de regiões com deficiência hídrica, o que a torna a segunda maior causa de redução da produtividade da cultura (SINGH, 1995). O aumento na resistência difusiva estomática pode ocasionar diminuição na fotossíntese líquida (AMARAL et al., 2006). Assim, a verificação das trocas gasosas constitui-se em importante ferramenta na determinação de adaptação e estabilidade de plantas a determinados ecossistemas, isto porque a redução no crescimento e a consequente diminuição na produtividade das plantas pode estar relacionada à redução na atividade fotossintética, limitada por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo (PEIXOTO et al., 2002; PAIVA et al., 2005).

As respostas dos vegetais ao estresse hídrico variam conforme a espécie, cultivar, tempo de exposição e fatores edáficos. O ideal é se avaliar mais de uma variável, tais como potencial hídrico, condutância estomática, temperatura e transpiração foliar, considerados importantes para avaliar as respostas das espécies vegetais ao estresse hídrico (NOGUEIRA et al., 2001).

A avaliação do status hídrico das plantas quando submetidas à deficiência hídrica nas fases vegetativa e reprodutiva, demonstra que cultivares de feijão *Vigna* tiveram reduções significativas no potencial hídrico, condutância estomática e transpiração foliar, com consequente aumento na temperatura da folha (MENDES et al., 2007). Entre os vários estresses abióticos que afetam o feijoeiro, a deficiência hídrica se destaca pela grande área de ocorrência e pela redução na produtividade, diminuindo a condutância estomática e aumentando a resistência difusiva ao vapor de água, mediante fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, em consequência, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese (OLIVEIRA et al., 2005; UMÑOZ- EREA et al., 2006). No entanto 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 (LARCHER, 2000).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o crescimento, aspectos fisiológicos, bioquímicos e de produção em genótipos de feijão *Vigna* sob níveis de reposição hídrica.

2.2. Objetivos Específicos

Avaliar os efeitos de diferentes lâminas de água sob componentes de crescimento (área foliar e massa seca) dos genótipos de feijão *Vigna*.

Avaliar três genótipos de feijão *Vigna*, quanto a parâmetros fisiológicos e bioquímicos, sob diferentes níveis de reposição hídrica.

Analisar os componentes de produção (comprimento de vagens, massa de vagens, número de grãos por vagem e massa de grãos por vagem) de genótipos de feijão *Vigna*, sob diferentes taxas de reposição hídrica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos Gerais da Cultura do Feijoeiro

3.1.1. Origem e Classificação Botânica

Acredita-se que o feijão *Vigna* é originário da África, tendo sido observado os maiores níveis de diversidade na Nigéria, na África Ocidental (NG, 1995). Foi domesticado nos sistemas agrícolas compostos pelo sorgo e milheto, predominantes nas regiões semiáridas do Oeste da África, onde se encontra uma das maiores áreas de produção de feijão *Vigna* (SINGH et al., 2002).

O feijão *Vigna*, também denominado feijão macaçar, feijão de corda ou feijão macassar, é uma dicotiledônea pertencente à ordem Fabales, família Fabace, subfamília Faboideae, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata*(L.) Walp. (ONOFRE, 2008).

3.1.2. Características Morfológicas

O feijão *Vigna* é uma cultura bastante estudada, mas em relação as suas fases de desenvolvimento são escassas as informações disponíveis, possivelmente, devido ao fato de apresentar grande variabilidade genética para todos os caracteres e em especial para o porte da planta (CAMPOS et al., 2000).

Fase vegetativa:

V0 – Semeadura; V1 – Os cotilédones encontram-se emergidos na superfície do solo; V2 – As folhas unifolioladas encontram-se completamente abertas, suas duas

margens estão completamente separadas; V3 – A primeira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V4 - A segunda folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V5 - A terceira folha trifoliolada encontra-se com os folíolos separados e completamente abertos; V6 – Os primórdios do ramo secundário surgem nas axilas das folhas unifolioladas, podendo também ser observados nas axilas das primeiras folhas trifolioladas; V7 – A primeira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; V8 – A segunda folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta; V9 – A terceira folha do ramo secundário encontra-se completamente aberta (NASCIMENTO, 2009).

Fase reprodutiva:

R1 – Surgem os primórdios do primeiro botão floral no ramo principal; R2 – Antese da primeira flor, geralmente oriunda do primeiro botão floral; R3 – Início da maturidade da primeira vagem, geralmente oriunda da primeira flor. Esse estágio é caracterizado pelo início da mudança de coloração das vagens devido ao início da secagem das mesmas; R4 – Maturidade de 50% das vagens da planta; e R5 – Maturidade de 90% das vagens da planta.

Sugere-se, ainda, haver um comportamento diferenciado dos genótipos de feijão *Vigna* nos sistemas de cultivo de sequeiro e irrigado na fase vegetativa (V3, V4, V7, V8 e V9) e reprodutiva (R2 e R5) (NASCIMENTO, 2009). Além disso, os diferentes estádios de desenvolvimento da planta podem variar de acordo com a cultivar, temperatura, clima e época de semeadura, entre outros fatores (CÂMARA, 1997).

3.1.3. Aspectos Socioeconômicos e Nutricionais

A área cultivada com feijão *Vigna* no Brasil é de aproximadamente 1 milhão de hectares dos quais cerca de 900 mil (90%) estão situados na região Nordeste (LIMA et al., 2007). Na região Nordeste a área, de produção e a produtividade são de 634,2 mil ha, 75,5 mil t e 119 kg ha⁻¹, respectivamente, com maiores produtores os Estados do Maranhão (15.400 t), Piauí (9.500 t), Ceará (32.400 t), Rio Grande do Norte (3.500 t) e Paraíba (2.900 t) (CONAB, 2012).

No estado da Paraíba, o feijão *Vigna* é cultivado em quase todas as microrregiões, numa área de 186.151 ha, produção de 62.018 toneladas ano⁻¹ e rendimento médio 382 kg ha⁻¹, ocupando o quarto lugar em área plantada no Nordeste

(IBGE, 2005). Assim, essa leguminosa exerce efetiva participação na dieta alimentar da população, por constituir-se em excelente fonte de proteínas e carboidratos de baixo custo (SILVA & OLIVEIRA, 1993; IBGE, 2005).

O feijão *Vigna* destaca-se como uma das mais cultivadas na região Nordeste, sendo considerada a principal cultura de subsistência dos agricultores de base familiar da zona rural. Entretanto, os rendimentos obtidos com seu cultivo ainda são extremamente baixos, sendo inferiores a 779 kg ha^{-1} (IBGE, 2013).

Além de conter os dez aminoácidos essenciais ao ser humano o feijão elevado valor calórico. Em virtude dessas características, é uma espécie de grande valor atual e estratégico (FREIRE FILHO et al., 2005). O feijão *Vigna*, no Nordeste constitui como alimento básico para a população, exercendo a função de supridor das necessidades alimentares das camadas carentes.

3.1.4. Irrigação na Cultura de Feijão

A agricultura é uma atividade que apresenta grau de risco relativamente alto. A disponibilidade hídrica às culturas é um dos fatores que mais contribui para a ocorrência destes riscos, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, por causa da irregular distribuição temporal e espacial das chuvas, que condicionam a frequência e a intensidade de períodos de déficit hídrico. Desta forma, a irrigação é uma prática necessária para que os riscos sejam eliminados ou minimizados, suprimindo as quantidades de água necessárias para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas (MOUSINHO, 2005).

3.1.5. Necessidade Hídrica

O requerimento de água do feijão *Vigna* é variável com seus estádios de desenvolvimento e a maior parte da agricultura irrigada utiliza entre 70 e 80% da água doce disponível no mundo. No Nordeste do Brasil, boa parte das culturas cultivadas é irrigada em perímetros de irrigação (SARAIVA, 2010). O consumo de água aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação (NÓBREGA et al., 2001), podendo variar de 300 a $450 \text{ mm ciclo}^{-1}$ bem distribuídos nos diferentes estádios de desenvolvimento e é dependente da cultivar, do solo e das condições climáticas locais.

O consumo hídrico diário raramente excede 3,0 mm, quando a planta está na fase inicial de desenvolvimento.

3.1.6. Estresse Hídrico

Com o estresse ocorre uma defasagem entre os processos de transpiração, absorção e disponibilidade de água no solo e com isso tem-se um desvio significativo das condições ótimas, e induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis em princípio, mas podem se tornar permanente (LARCHER, 2000). É um fator externo que exerce uma influência desvantajosa para a planta (TAIZ & ZEIGER, 2004). Desta forma, a irrigação é uma prática necessária para que os riscos sejam eliminados ou minimizados, suprindo as quantidades de água necessárias para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas (MOUSINHO, 2005).

Nesse sentido, quanto menor a quantidade de água no solo mais negativo deve ser o potencial de água na folha desenvolvido pelos vegetais, formando um gradiente que favoreça a absorção de água pelas plantas (LARCHER, 2000). A temperatura foliar, a relação entre temperatura foliar e a temperatura do ar ou mesmo a diferença entre ambas, têm sido empregadas por diversos pesquisadores como indicadoras das condições hídricas das plantas (OLIVEIRA et al., 2005). Em sua pesquisa, Guimarães et al. (2006) constataram que a temperatura do dossel se correlacionou significativamente com o potencial da água nas folhas e sua medição, por ser rápida e não destrutiva, mostrou tratar-se de uma técnica útil no processo de seleção de genótipos de feijoeiro para regiões sujeitas a deficiência hídrica. De acordo com dados da literatura, sob condições de déficit hídrico, a temperatura foliar se apresenta, comumente, mais elevada do que a temperatura do ar, resultando em aumento na relação temperatura foliar/ambiente (MENDES et al., 2007).

O desenvolvimento de cultivares mais tolerantes a períodos de deficiência hídrica no solo, tal como o desenvolvimento de mecanismos que auxiliem as plantas a tolerar períodos prolongados de seca, será essencial na manutenção da produção agrícola brasileira e mundial (NEPOMUCENO et al., 2001).

As diferentes reações de cada genótipo a essas variações permitem que ele possa tolerá-las quando em níveis críticos, mantendo, ainda assim, taxas adequadas de

fotosíntese (RIBEIRO et al., 2004). Cultivares de feijão *Vigna* apresentam diferentes respostas fisiológicas quando submetidos a déficit de água no solo (BEZERRA et al., 2003).

3.1.7. Mecanismos de tolerância ao estresse hídrico

3.1.7.1. Acúmulo de açúcares ou solutos compatíveis no ajustamento osmótico

O termo *solutos compatíveis* foi proposto inicialmente por Wyn Jones et al. (1977) por serem solúveis e não interferirem no metabolismo citoplasmático, mesmo em altas concentrações. Inúmeras substâncias possuem função osmoprotetora, em que se destacam açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos e íons inorgânicos, os quais compartilham a propriedade de permanecerem invariáveis em pH neutro e serem altamente solúveis em água, contribuindo dessa forma para o ajustamento osmótico celular (HASEGAWA et al., 2000).

Os solutos orgânicos são compostos bastante solúveis, de baixo peso molecular e que não apresentam toxicidade quando em elevadas concentrações no interior das células (ASHRAF e FOOLAD, 2007). Entre os compostos orgânicos, a prolina e compostos amina quaternária, entre eles a glicina-betaína e os poli-hidroxiácidos (carboidratos e poliálcoois) são os solutos orgânicos mais comumente acumulados em plantas em condições de estresse (ASHRAF e HARRIS, 2004).

3.1.7.2. Trealose

A trealose é um dissacarídeo não redutor (α -D-glicopiranosil-[1,1]- α -D-glicopiranosídeo), quimicamente estável que, sob condições de estresse hídrico, interage com os grupos polares das cadeias fosfolipídicas existentes na membrana, substituindo a água que foi removida, mantendo estruturas hidrofílicas da membrana plasmática e, conseqüentemente, a estabilidade celular (PATIST e ZOERB, 2005; ALMEIDA et al., 2007). A trealose protege membranas e proteínas por conferir resistência à dessecação em células com deficiência hídrica (EL-BASHITI et al., 2005).

3.1.7.3. Prolina Livre

A prolina é um aminoácido, embora o grupo amino está ligado a dois átomos de carbono. Sua principal característica como osmoprotetor deve-se à redução do potencial osmótico da célula, mantendo equilíbrio hídrico entre o vacúolo e o citoplasma (BRAY et al., 2001).

No entanto, a prolina atribui efeito na estabilização de proteínas e na proteção das membranas contra os efeitos deletérios das espécies reativas de oxigênio (SHARMA e DUBEY, 2005). Considerado osmólito-chave para o ajuste osmótico de plantas em condições de estresse hídrico (NAYYAR, 2003), a prolina também atua como soluto compatível em plantas sob o efeito interativo da deficiência hídrica. (MARIN et al., 2006; MARIN e SANTOS, 2008).

Esse aminoácido se acumula em uma variedade de espécies de plantas em resposta a estresses ambientais tais como seca, salinidade, temperaturas extremas, radiação ultravioleta e metais pesados (SIRIPORNADULSIL et al., 2002; ASHRAF e FOOLAD, 2007). Esse acúmulo está correlacionado à tolerância ao estresse, sendo a concentração deste aminoácido, geralmente encontrada em níveis mais elevados nas plantas tolerantes que nas sensíveis (ASHRAF e FOOLAD, 2007).

Acúmulos de prolina foram encontrados em feijão *Vigna* submetidos a estresse hídrico, sendo esse osmólito considerado um marcador bioquímico do estresse hídrico para os genótipos de ciclo intermediário, diferenciando-os dos genótipos de ciclo tardio (SANTOS et al., 2010).

3.1.7.4. Glicina - Betaína

A glicina-betaína, é um composto de amina quaternária. Seu acúmulo ocorre nos cloroplastos e sua concentração é correlacionada com o nível de tolerância da planta (BRAY et al., 2000). Certas plantas acumulam quantidades significativas de glicina-betaína, em resposta à seca ao frio e a alta salinidade. As plantas quando submetidas às condições de estresse hídrico ou salino necessitam diminuir o potencial osmótico intracelular, para tolerar tal condição. Esse osmólito participa como osmoprotetor, estabilizando a estrutura das proteínas e da membrana celular (SAKAMOTO e MURATA, 2000). A glicina betaína atua também como protetor das membranas dos tilacóides, o que mantém a eficiência fotoquímica na fotossíntese (ASHRAF e FOOLAD, 2007).

3.1.8. Enzimas Antioxidantes

3.1.8.1. Catalase

A catalase (CAT) é uma das principais enzimas na eliminação de H_2O_2 gerado durante a fotorrespiração e β -oxidação dos ácidos graxos, atua nos peroxissomos, glioxissomos e citosol, e pode ser encontrada também em mitocôndrias, convertendo H_2O_2 à H_2O e oxigênio (PERL-TREVES e PERL, 2002; HELDT e HELDT, 2005; DUBEY, 2010).

As plantas possuem várias isoformas de CAT as quais podem dismutar diretamente o H_2O_2 ou oxidar substratos, tais como metanol, etanol, formaldeído e ácido fórmico (BREUSEGEM et al., 2001). Segundo Wassmann et al. (2004), a CAT é considerada uma enzima com ação indireta na detoxificação de superóxido devido a sua participação na eliminação do H_2O_2 formado pela SOD, que são metalo-enzimas que podem também agir na redução do risco de formação do radical hidroxila a partir do superóxido. Portanto, desempenham um papel chave na proteção contra estresses oxidativos (DUBEY, 2010; DINAKARA et al., 2012).

3.1.8.2. Superóxido dismutase

A superóxido dismutase (superóxido oxidoreductase) é uma enzima essencial para todas as células aeróbicas, pois catalisa a dismutação do radical superóxido, formando H_2O_2 e O_2 (DIONISIO-SESE e TOBITA, 1998; FURIAN, 2007). As SODs são grupos de metaloproteínas multiméricas que têm sido classificados em três grupos de acordo com o componente metálico presente em seu sítio ativo: cobre/zinco, manganês ou ferro, sendo que as Cu/Zn-SODs são consideradas as mais abundantes em vegetais (SCANDALIOS, 1993; MALLICK e MOHN, 2000). As Cu/Zn-SODs e algumas Mn-SODs e Fe-SODs de procariontes são diméricas, enquanto que as Mn-SODs das mitocôndrias e de algumas bactérias termófilas são tetraméricas.

De maneira geral, as Cu/Zn-SODs são encontradas no citosol e no estroma dos cloroplastos (HAYAKAWA; KANEMATSU; ASADA, 1994). As Mn-SODs e Fe-SODs têm sido encontradas geralmente na matriz mitocondrial de células procarióticas, embora uma Mn-SOD associada à membrana tenha sido observada nos cloroplastos de

algumas plantas (SEHMER e DIZENGREMEL, 1998). A Fe-SOD foi observada em algumas famílias de plantas e está associada principalmente aos cloroplastos (MALLICK e MOHN, 2000).

3.1.8.3. Ascorbato peroxidase

A ascorbatoperoxidase (APX) é uma enzima que contém ferro no seu grupo heme prostético e pode ser encontrada em várias isoformas nos diferentes compartimentos celulares: citosol, mitocôndria, peroxissomos, cloroplastos (estroma e ligadas às membranas dos tilacóides) (DABROWSKA et al., 2007; FOYER e NOCTOR, 2009; FERNANDEZ-GARCIA et al., 2010). Assim como a CAT, a APX também participa da detoxificação do H_2O_2 reduzindo-o a H_2O em plantas. Contudo, a detoxificação pela APX ocorre com a oxidação de ascorbato, reação que resulta em monodeidroascorbato (MDHA) e H_2O . A regeneração do ascorbato é mediada pela monodeidroascorbato redutase (MDHAR) utilizando NAD(P)H como equivalente redutor (FOYER e NOCTOR, 2009).

Entre as enzimas do sistema antioxidativo, a APX é uma das principais na eliminação rápida H_2O_2 , agindo na prevenção de danos celulares oxidativos em plantas. Por causa da sua alta afinidade com o substrato, ela atua na modulação fina do H_2O_2 quando essas moléculas se encontram em baixas concentrações, enquanto que a CAT, atua na remoção do excesso de H_2O_2 , uma vez que apresenta menor afinidade com a molécula, agindo, portanto, em plantas sob altos níveis de estresse (MITTLER, 2002; LOCATO et al., 2010). Neste sentido, o balanço entre as enzimas do sistema antioxidante APX e CAT é útil na determinação do nível de radicais superóxido e do peróxido de hidrogênio (MITTLER, 2002).

3.1.9. Relação entre pigmentos fotossintéticos e deficiência hídrica

As clorofilas são moléculas complexas especialmente ajustadas para as funções de absorção de luz, transferência de energia e de elétrons. As clorofilas são construídas por uma rota de síntese em que se empregam moléculas simples para a montagem de moléculas complexas (PORRA, 1997; BEALE, 1999; TAIZ e ZEIGER, 2011).

As clorofilas podem causar a formação de oxigênio singleto quando se encontram livres irão absorver luz eficientemente da mesma maneira, porém, não encontrarão as proteínas do sistema de transporte não possuindo rota para liberação da energia (TAIZ e ZEIGER, 2011).

3.1.9.1. Clorofila *a* e *b*

A clorofila *a* é essencial para a produção de oxigênio pela fotossíntese, sendo a clorofila *b* considerada pigmento acessório, ou seja, pigmento que não está diretamente envolvido na transdução da energia da fotossíntese mas serve para ampliar a faixa de luz que pode ser usada no processo. Quando uma molécula de clorofila *b* absorve a luz, a energia é transferida para a molécula de clorofila *a*, que então, a transforma em energia química durante a fotossíntese (RAVEN et al., 1999).

3.1.9.2. Carotenóides

Os carotenóides são encontrados em todos os organismos fotossintéticos. Constituem integralmente as membranas dos tilacóides e estão, em geral, intimamente associados aos pigmentos protéicos das antenas e centros de reação. A luz absorvida por estes pigmentos acessórios é transferida à clorofila para o processo de fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2011).

Os carotenóides desempenham papel essencial na fotoproteção, pelas membranas fotossintéticas poderem ser facilmente danificadas pelas grandes quantidades de energia absorvida pelos pigmentos. Tal mecanismo de fotoproteção atua liberando o excesso de energia antes que possa danificar o organismo. O oxigênio singleto formado a partir da reação de clorofilas excitadas e o oxigênio molecular, encontra-se altamente reativo, danificando muitos componentes celulares, principalmente os lipídeos, sendo os carotenóides responsáveis pela ação protetora por não possuir energia suficiente para formar o oxigênio singleto, retornando à sua forma inicial perdendo energia na forma de calor (TAIZ e ZEIGER, 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização do experimento, solo e clima

A pesquisa foi conduzida em campo, na área experimental do Setor de Fruticultura e Ecofisiologia Vegetal pertencente ao Centro de Ciências Humanas e Agrárias (CCHA), Campus IV da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizado no município de Catolé do Rocha, PB (Figura 1). A cidade está situada a 6° 21' de latitude S e 37° 48' de longitude O, a uma altitude de 250 m.

O clima da região é do tipo BSw'h', segundo classificação de Köppen, caracterizando-se por ser semiárido quente, com duas estações distintas, uma chuvosa com precipitação irregular e outra sem precipitação. A precipitação média anual é de 870 mm, temperatura média de 27 °C com período chuvoso concentrando-se entre os meses de fevereiro e abril.

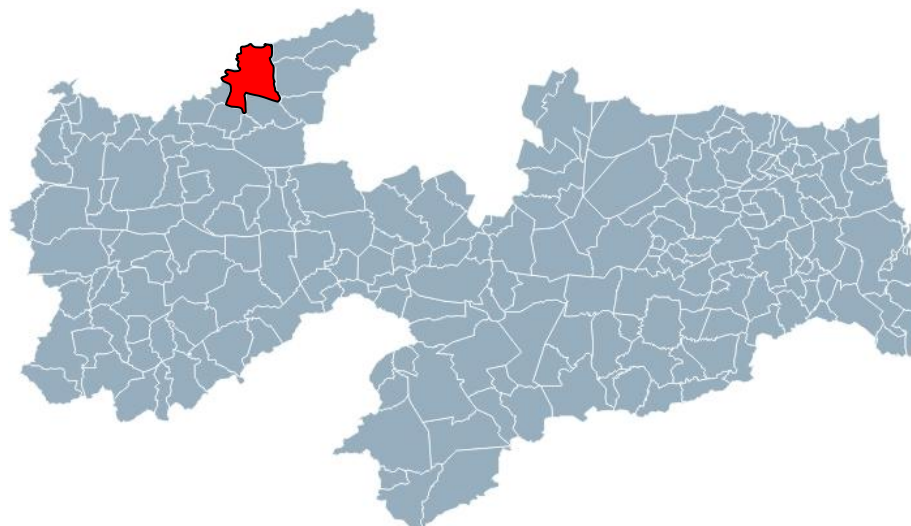


Figura 1. Mapa político do município de Catolé do Rocha/PB, onde foi conduzido o estudo. Campina Grande, PB, 2014.

O trabalho foi conduzido no período de 19 de setembro a 12 de dezembro de 2012. Esse período corresponde ao tempo de estiagem nessa região, sendo necessário o uso de irrigação nos cultivos.

As condições edáficas foram representadas por um solo classificado como NEOSSOLO FLÚVICO Eutrófico, com textura arenosa (SANTOS et al., 2006), em que amostras de solo foram coletadas para análise de suas características físicas (Tabela 1) e químicas (Tabela 2).

Tabela 1. Valores da análise físico-hídrica do solo da área experimental do Setor de Fruticultura e Ecofisiologia Vegetal (UEPB). Catolé do Rocha/PB, 2014.

| Atributos físico-hídricas | Profundidade (0-20 cm) |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Granulométrica (g kg ⁻¹) | |
| Areia | 773,7 ⁽¹⁾ |
| Silte | 168,3 |
| Argila | 58 |
| Classificação textural | Franco-arenoso |
| Densidade (g cm ⁻³) | |
| Solo | 1,53 |
| Partículas | 2,65 |
| Porosidade total (%) | 42,26 |
| Umidade (g kg ⁻¹) | |
| Capacidade de campo | 11,44% peso |
| Ponto de murcha permanente | 3,51% peso |
| Água disponível | 1,21mm/cm |

⁽¹⁾ Resultados da análise de solo realizada pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG.

Tabela 2. Valores da análise química do solo da área experimental do Setor de Fruticultura e Ecofisiologia Vegetal (UEPB). Catolé do Rocha/PB, 2014.

| Características químicas | Unidade | Profundidade (0-20 cm) |
|---------------------------------|----------------|-------------------------------|
|---------------------------------|----------------|-------------------------------|

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------|
| Cálcio (Ca^{+2}) | ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) | 4,8 |
| Sódio (Na^+) | ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) | 0,404 |
| Magnésio (Mg^{+2}) | ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) | 1,55 |
| Potássio (K^+) | (mg dm^{-3}) | 309,08 |
| Fósforo (P) | (mg dm^{-3}) | 186,97 |
| Matéria orgânica M.O. | (g Kg^{-1}) | 12,62 |
| pH H_2O (1:2,5) | | 7,32 |
| Soma de bases (SB) | ($\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$) | 7,54 |
| Hidrogênio + Alumínio | ($\text{cmol}_c \text{dm}^3$) | 0,413 |
| Alumínio (AL^{+3}) | ($\text{cmol}_c \text{dm}^3$) | 0,0 |
| CTC | ($\text{cmol}_c \text{dm}^3$) | 7,96 |

Resultados da análise de solo realizada pelo Laboratório de Química e fertilidade do solo UFPB. (2) De acordo com Ribeiro et al. (1999).

Durante a condução do experimento, foram coletados na estação agrometeorológica, localizada próximo da área experimental, os dados climáticos de temperatura máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C dia}^{-1}$), umidade relativa do ar (%) e radiação solar (MJ dia^{-1}) (Figura 2).

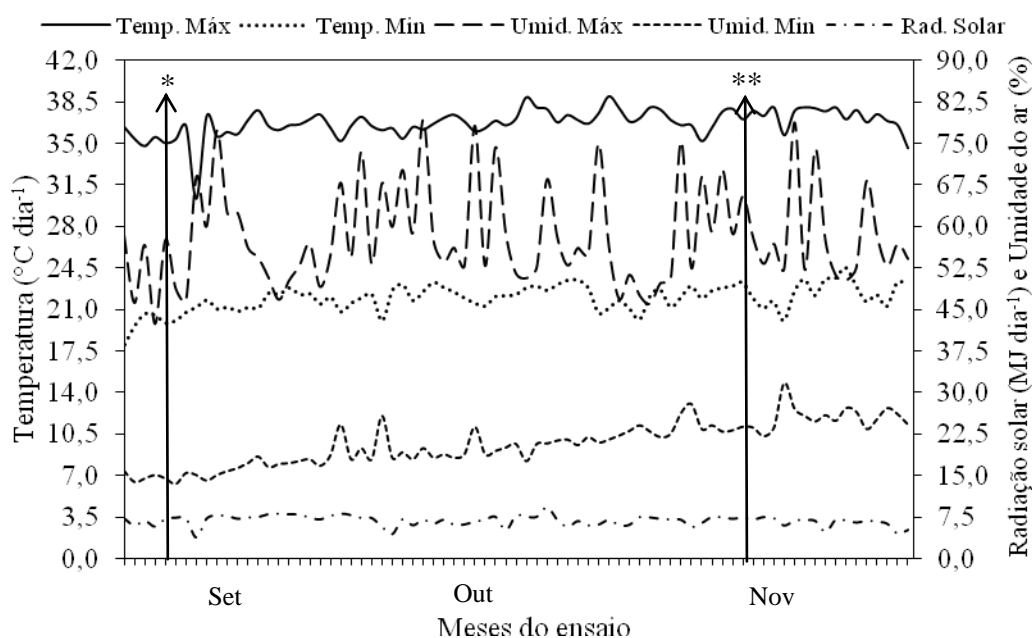


Figura 2. Dados climáticos de temperatura máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C dia}^{-1}$), umidade relativa do ar (%) e radiação solar (MJ dia^{-1}) durante a condução do experimento. *Data de semeadura das cultivares; **Início da colheita das vagens verdes. 2012, Catolé do Rocha, PB.

4.1. Características das cultivares utilizada

O experimento envolveu três genótipos de feijão *Vigna*, sendo eles: BRS (BrazilSeeds) Aracé, BR 17 Gurguéia e BRS (BrazilSeeds) Marataoã. Na tabela 3, estão descritas as principais características dos genótipos de feijão.

Tabela 3. Características das cultivares de feijão *Vigna*.

| Características | Cultivares | | |
|-----------------------------|---------------|----------------|---------------|
| | BRS Aracé | BR 17 Gurguéia | BRS Marataoã |
| Hábito de Crescimento | Indeterminado | Indeterminado | Indeterminado |
| Porte | Semiprostado | Enramador | Semiprostado |
| Nº de dias para floração | 41 | 43 | 42 |
| Cor da vagem imatura | Verde | Verde | Verde clara |
| Cor vagem seca | Roxa | Amarela | Roxa |
| Comprimento médio da vagem | 20 cm | 17 cm | 18 cm |
| Nº médio de grãos por vagem | 15 | 15 | 15 |
| Ciclo | 70 a 75 dias | 75 dias | 70 a 75 dias |
| Peso médio de 100 sementes | 18g | 12,5g | 15,5g |
| Produtividade média | 985 kg | 1694 kg | 1807 kg |

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

4.2. Tratamentos e delineamento estatístico

O experimento foi constituído por um estudo de três genótipos de feijão *Vigna*, obtidos no programa de melhoramento genético de feijão da Embrapa Meio Norte com potencial de produção no semiárido (G1 = BRS Aracé, G2 = BR 17 Gurgueia e G3 = BRS Marataoã) e quatro lâminas de irrigação (40, 60, 80 e 100% da ETc). Fatorialmente combinados resulta em um fatorial 3 x 4, organizado no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições.

4.3. Preparo do solo

O preparo do solo foi realizado por uma aração, usando grade aradora, que fez o revolvimento do solo a uma profundidade de 0,20 m e, em seguida, fez-se o nivelamento com grade niveladora (Figura 3).

As adubações foram feitas de acordo com os resultados da análise de solo (Tabela 2), direcionada para a cultura do feijão *Vigna*. A adubação foi comum a todos os tratamentos utilizando adubos minerais com NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), na forma de Ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O).



Figura 3.Preparo do solo com grade aradora (A) e niveladora (B). Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra

4.4. Manejo da Irrigação

O manejo da irrigação foi em função do nível de esgotamento de água do solo referente ao tratamento, determinado a partir da evapotranspiração de referência (ET_c) pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), utilizando o K_c proposto por Doorenbos e Kassan (1979) nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura (Tabela 4): germinação – folhas primárias (V0 – V2); primeira folha trifoliada – terceira folha trifoliada (V3 – V4); pré-floração – formação de vagens (R5 – R7); enchimento de grãos (R8) e maturação (R9), onde a partir daí foi calculado a lâmina bruta, cálculo da intensidade de aplicação e o cálculo do tempo de irrigação.

Tabela 4. Valores de coeficiente da cultura (K_c) que foram utilizados nas diferentes fases de desenvolvimento do feijoeiro *Vigna* de acordo com as lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento.

| Fases de desenvolvimento | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V0 – V2 | V3 – V4 | R5 – R7 | R8 | R9 |
| Coeficiente da cultura (kc) | | | | |
| 0,30 – 0,40 | 0,70 – 0,80 | 1,05 – 1,20 | 0,65 – 0,75 | 0,25 – 0,30 |

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

Os dados climáticos foram coletados na estação agrometeorológica e aplicados na equação 1:

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

Em que:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

R_n = radiação líquida na superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$);

G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$);

Δ = inclinação da curva pressão vapor versus temperatura do ar ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$);

U_2 = velocidade do vento medida a dois metros de altura (m s^{-1});

T = temperatura ($^\circ\text{C}$);

e_s = pressão de saturação do vapor d'água (kPa);

e_a = pressão real do vapor d'água (kPa);

γ = fator psicrométrico (MJ kg^{-1}).

A aplicação da água e o manejo da irrigação foram realizados por meio do cálculo da intensidade de aplicação e do tempo de irrigação.

4.4.1. Cálculo da Lâmina Bruta

O cálculo da lâmina bruta foi realizado diariamente através da equação 2:

$$LB = \frac{E_{to} \cdot K_c \cdot K_s}{E_f} - P_e \quad (2)$$

Em que:

LB = lâmina bruta (mm dia^{-1});

E_{to} = evapotranspiração de referência segundo tanque classe A (mm dia^{-1});

K_c = coeficiente de cultura (Tabela 4);

K_s = porcentagem de área molhada pelo emissor;

P_e = precipitação efetiva ocorrida no período (mm);

E_f = eficiência de irrigação (0,9).

4.4.2. Cálculo da Intensidade de Aplicação

O cálculo da intensidade de aplicação foi procedido por meio da seguinte relação:

$$I_a = \frac{n \times v}{ec \times eg} \quad (3)$$

Em que:

I_a = intensidade de aplicação ($\text{L m}^{-3} \text{h}^{-1}$);

n = número de emissores por planta;

v = vazão do emissor (L h^{-1});

ec = espaçamento ocupado pela planta (m^2);

eg = espaçamento entre gotejadores.

4.4.3. Cálculo do Tempo de Irrigação

A equação do tempo de irrigação foi realizada para que possamos mensurar o tempo de irrigação diária em horas.

$$T_i = \frac{LB}{I_a} \quad (4)$$

Em que:

T_i = tempo de irrigação (h);

LB = lâmina bruta (mm dia^{-1});

I_a = intensidade de aplicação (mm h^{-1}).

4.5. Variáveis Analisadas

4.5.1. Área Foliar e Matéria Seca

A área foliar (AF) (cm^2) de cada planta analisada semanalmente foi estimada por meio da leitura do comprimento e largura de cada folha utilizando uma régua graduada em centímetros (Figura 4A), onde para obter a AF por planta utilizou-se a equação $AFT = 0,1026 \times Lf^{1,6871}$, proposta por (QUEIROGA et al., 2003) em que:

Lf= largura de cada folíolo (cm).

Em cada análise de área foliar, em intervalos de sete dias, uma planta foi retirada do campo e em seguida separou-se as folhas do caule e ramos. Posteriormente, o material foi colocado em estufa de circulação de ar, sendo que após 48 horas o material foi pesado em balança de precisão para obter a massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e total (MSPA) (Figura 4B).

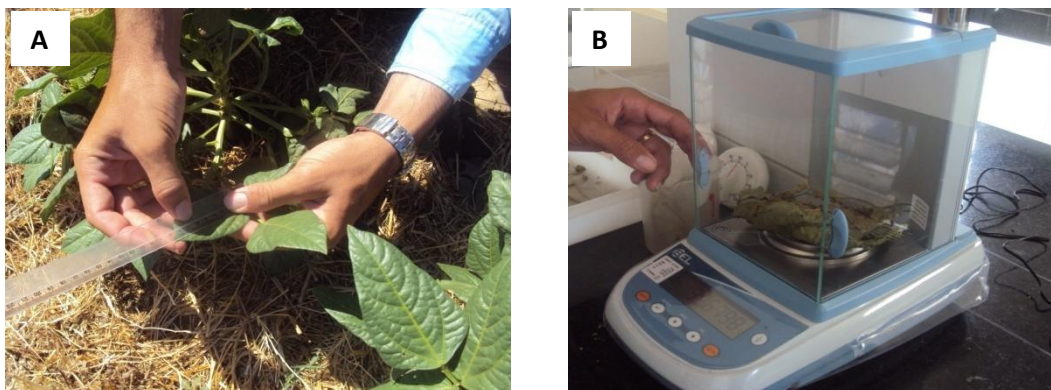


Figura 4. Aferição da área foliar (A) e pesagem do material seco em balança de precisão (B). Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra

4.5.2. Trocas Gasosas

Foram avaliadas as taxas de concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), cujas leituras foram realizadas entre 8:40 e 9:40 h da manhã aos 22 dias após a semeadura (fase vegetativa V5). De posse desses dados, também, foram quantificadas a eficiência instantânea no uso da água (EUA) (A/T) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] (NEVES et al., 2002; KONRAD et al., 2005) e a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$]. Essas determinações foram efetuadas na terceira folha do folíolo central a partir do ápice totalmente expandido (NOGUEIRA et al., 2001) e sem sinais de senescência ou herbivoria, tomando-se duas plantas por parcela e utilizando um analisador de gás infravermelho (IRGA) modelo LCpro+Sistem (Figura 5).



Figura 5. Aferição das trocas gasosas nas plantas de feijão *Vigna*. Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra

4.5.3. Caracterização Bioquímica

Para realização das análises bioquímicas, procedeu-se a coleta de amostras foliares nas plantas das parcelas uteis antes da aplicação da irrigação (estresse de 24 horas) e após a reidratação (30 minutos após a irrigação). Essa coleta foi realizada aos 35 DAS na fase V9 no período da manhã entre 07 e 08 horas da manhã. Uma folha de cada genótipo foi retirada da planta, sendo embalada em papel alumínio com a determinada identificação dos tratamentos e em seguida armazenada em isopor com gelo. Após a coleta das amostras, as análises bioquímicas foram realizadas no laboratório da Universidade Estadual da Paraíba- UEPB.



Figura 6. Folhas de cada Genótipo embaladas em papel alumínio. Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra

4.5.3.1. Pigmentos cloroplastídicos

Amostras foliares foram coletadas e maceradas em 10 mL de acetona 80% em presença de 0,1 g de CaCO_3 e o homogenato resultante foi centrifugado a 500 g, por 15 min, a 4°C. As ABS das amostras foram registradas em espectrofotômetro a 470, 646,8 e

663,2 nm e os teores de clorofilas e carotenóides (g pigmento kg⁻¹ MS) obtidos de acordo com Lichtenthaler (1987), pela utilização das equações abaixo:

$$(1) \text{ Clorofila } a = 12,25 \text{ ABS}_{663,2} - 2,79 \text{ ABS}_{646,8}$$

$$(2) \text{ Clorofila } b = 21,50 \text{ ABS}_{646,8} - 5,10 \text{ ABS}_{663,2}$$

$$(3) \text{ Carotenóides totais} = (1000 \text{ ABS}_{470} - 1,82 \text{ clorofila } a - 85,02 \text{ clorofila } b)/198$$

4.5.3.2. Ensaio enzimáticos (SOD, APX e CAT)

A dosagem de proteínas, usadas nos cálculos das atividades enzimáticas da dismutase do superóxido, peroxidase do ascorbato e catalase, foi realizada segundo Bradford (1976).

A extração da dismutase do superóxido (SOD) foi realizada a partir de amostras foliares homogeneizados em 3 mL de 100 mM de tampão fosfato de potássio (TFK; pH 7,8); 0,1 mM de EDTA; 0,1% (v/v) de 2-Mercaptoetanol; 0,1% (v/v) de Triton X-100; 30 mg de Polivinilpirrolidona (PVP) e 20 mM de ascorbato. A atividade da SOD foi determinada segundo Giannopolitis e Ries (1977).

A peroxidase do ascorbato (APX) foi extraída a partir de amostras foliares para cada 3 mL de TFK 50 mM (pH 7,0); acrescido de 2 mM de EDTA; 0,1% (v/v) de Triton X-100; 0,1% (v/v) de 2-Mercaptoetanol; 20 mM de ascorbato e 30 mg de PVP. A atividade da APX foi acompanhada pelo decréscimo da ABS a 290 nm em um meio de reação constituído de TFK 50 mM (pH 7,0); 0,1 mM de H₂O₂; 0,5 mM de ascorbato e 50 µL do extrato enzimático (NAKANO e ASADA, 1981).

A catalase (CAT) foi extraída em TFK 100 mM (pH 7,0); acrescentado de 2 mM de EDTA; 0,1% (v/v) de Triton X-100; 0,1% (V/V) de 2-Mercaptoetanol; 20 mM de ascorbato; 30 mg de PVP. Determinou-se a atividade da CAT pelo monitoramento do decréscimo da ABS a 240 nm (HAVIR e McHALE, 1987).

4.5.3.3. Teor de prolina

O teor de prolina foi determinado utilizando-se o método de Bates et al. (1973). Para a realização do teste colorimétrico, pipetaram-se alíquotas de 1,0 mL do extrato

bruto; 1,0 mL de ninhidrina ácida; 1,0 mL de ácido acético glacial. Após banho-maria fervente por 60 min., resfriaram-se os frascos e efetuou-se leitura do composto colorido a 520 nm. Como referência, utilizou-se uma reta padrão com L-prolina.

4.5.3.4. Glicina betaína

A glicina foi determinada segundo o método de Grieve e Grattan (1983). As amostras coletadas foram maceradas em 2 mL de água destilada sob agitação constante, à temperatura ambiente, por um período de 4 horas, seguindo de centrifugação a 3.500 g por 10 minutos, a 25 °C. Do sobrenadante coletado foi retirado uma alíquota de 250 µL para a quantificação de glicina betaína. Os resultados foram expressos em mg glicina – betaína g⁻¹ MS.

4.5.3.5. Trealose

A quantificação de trealose foi realizada segundo método enzimático descrito por Neves et al. (1994). A mistura (6 mL de Na₂CO₃ mais tecido foliar) foi fervida por 20 minutos a 100°C, centrifugado a 3000 x g durante 3 minutos.

A quantificação da trealose no tecido vegetal foi calculada de forma indireta, através da quantidade de glicose. Foram também levados em consideração os fatores de diluição, que foram multiplicados ao final, no valor encontrado para trealose.

4.5.4. Variáveis de Produção

Após o estágio fenológico R3, caracterizados pelo início da mudança de coloração das vagens, considerando-se que os grãos já se encontravam completamente formados,

as vagens foram colhidas, para posterior determinação do peso de vagens verdes, comprimento de vagens verdes, número de grãos por vagem e peso de grãos verdes (Figura 7).

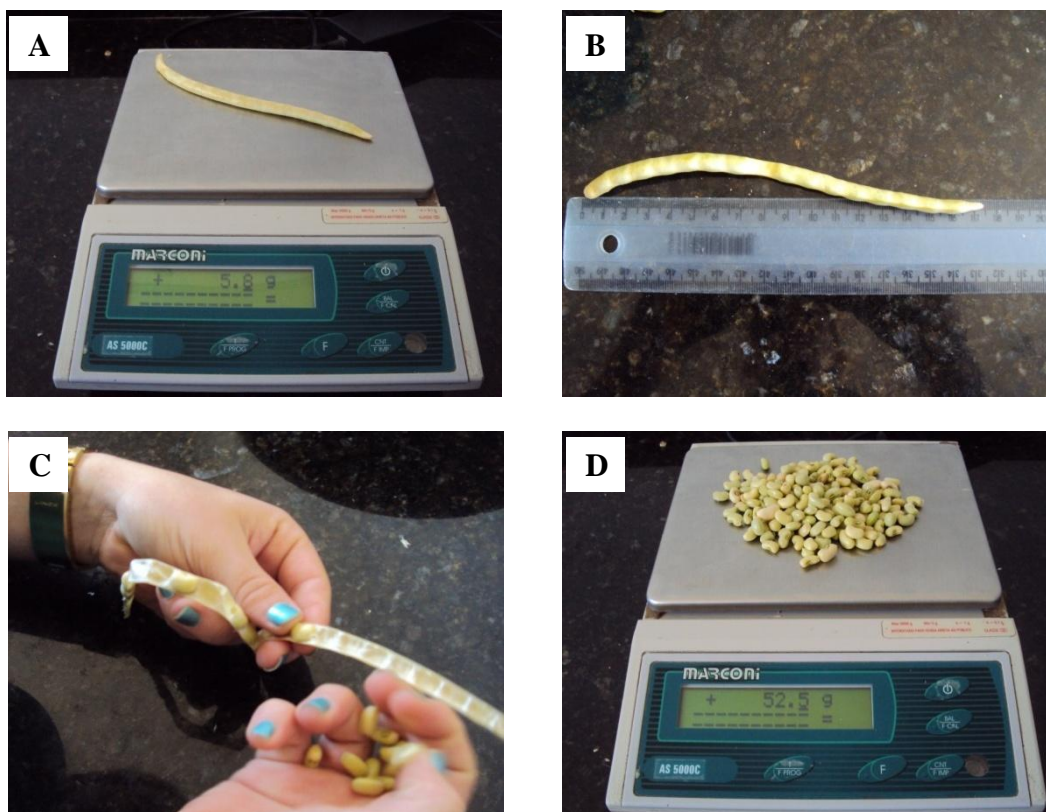


Figura 7. Pesagem de vagem (A), mensuração do comprimento de vagem (B), contagem do número de grãos por vagem (C) e aferição do peso de grãos verdes. Catolé do Rocha/PB, 2014. Fotos: Alexson Filgueiras Dutra

4.6. Análise Estatística

Os dados das variáveis foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P \leq 5\%$), sendo os modelos de regressão ajustados de acordo com o coeficiente de determinação ($\alpha \leq 5\%$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha \leq 5\%$), utilizando o programa SAEG 9.1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Massa seca e Área foliar

Houve efeito significativo da aplicação das lâminas de irrigação ($p < 0,05$) nos genótipos de feijão *Vigna* quando avaliou-se a massa seca do caule (MSC), massa seca das folhas (MSF) e massa seca total (MST) e área foliar (AF), indicando que as lâminas de água aplicadas no solo influenciaram, significativamente, o crescimento das plantas de feijão *Vigna*. Nota-se, ainda, diferença significativa entre os genótipos de feijão *Vigna* para as variáveis MSF, MSC, MSPA e AF em todas as datas avaliadas, exceto para massa seca do caule aos 27 dias após semeadura (DAS). Já com relação à interação entre os fatores lâmina e genótipo, observa-se que apenas na MSC aos 34 DAS e na área foliar durante as duas primeiras avaliações (20 e 27 DAS) não houve efeito significativo ($p \geq 0,05$) (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo das análises de variância referente às variáveis massa seca das folhas (MSF) (g), massa seca do caule (MSC) (g), massa seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF) aos 20, 27, 34, 41 e 48 dias após semeadura (DAS) em genótipos de feijão *Vigna* sob aplicação de lâminas de irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

| F.V. | G.L. | Quadrados Médios – MSF | | | | |
|-------|------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | MSF-20 | MSF-27 | MSF-34 | MSF-41 | MSF-48 |
| Bloco | 3 | 0,02922* | 0,0734 ^{ns} | 0,5714 ^{ns} | 0,4296 ^{ns} | 0,1630 ^{ns} |

| | | | | | | |
|-------------------------|------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Lâmina (La) | 3 | 0,2773* | 0,7336* | 9,4769* | 19,4366* | 161,44* |
| Genótipo (Ge) | 2 | 0,1249* | 1,1540* | 2,0928* | 14,1266* | 32,4137* |
| Ge x La | 6 | 0,0290* | 0,1447* | 4,5900* | 2,0090* | 20,5833* |
| Resíduo | 33 | 0,0085 | 0,0351 | 0,218 | 5,8171 | 0,8237 |
| C.V. (%) | | 11,549 | 11,739 | 14,904 | 6,102 | 6,348 |
| Quadrados Médios – MSC | | | | | | |
| F.V. | G.L. | MSC-20 | MSC-27 | MSC-34 | MSC-41 | MSC-48 |
| Bloco | 3 | 0,0007 ^{ns} | 0,0075 ^{ns} | 0,0841* | 0,0645 ^{ns} | 0,3760 ^{ns} |
| Lâmina (La) | 3 | 0,0270* | 0,0472* | 0,9288* | 1,8015* | 23,0352* |
| Genótipo (Ge) | 2 | 0,0378* | 0,0072 ^{ns} | 0,1206* | 3,1753* | 9,6210* |
| Ge x La | 6 | 0,0051* | 0,0110* | 0,0367 ^{ns} | 0,2934* | 1,1380* |
| Resíduo | 33 | 0,0007 | 0,2955 | 0,0263 | 0,0629 | 0,2113 |
| C.V. (%) | | 10,073 | 11,892 | 16,013 | 11,409 | 10,908 |
| Quadrados Médios – MSPA | | | | | | |
| F.V. | G.L. | MSPA-20 | MSPA-27 | MSPA-34 | MSPA-41 | MSPA-48 |
| Bloco | 3 | 0,0394* | 0,1127* | 1,0196* | 0,7996* | 0,8013 ^{ns} |
| Lâmina (La) | 3 | 0,4735* | 1,1515* | 16,1552* | 31,9631* | 304,1989* |
| Genótipo (Ge) | 2 | 0,2528* | 1,0012* | 1,3610* | 18,5336* | 71,8779* |
| Ge x La | 6 | 0,0570* | 0,2195* | 4,7038* | 2,8148* | 28,6996* |
| Resíduo | 33 | 0,0113 | 0,0393 | 0,257 | 0,2544 | 1,161 |
| C.V. (%) | | 9,895 | 9,659 | 12,226 | 5,555 | 5,82 |
| Quadrados Médios – AF | | | | | | |
| F.V. | G.L. | AF-20 | AF-27 | AF-34 | AF-41 | AF-48 |
| Bloco | 3 | 1,5034 ^{ns} | 3,1242 ^{ns} | 18,7664 ^{ns} | 100,95 ^{ns} | 54,9154 ^{ns} |
| Lâmina (La) | 3 | 5,8079* | 32,7080* | 1186,57* | 6034,36* | 9158,11* |
| Genótipo (Ge) | 2 | 7,4693* | 58,0001* | 730,0764* | 4306,53* | 852,4038* |
| Ge x La | 6 | 0,6137 ^{ns} | 2,9359 ^{ns} | 507,9651* | 1208,88* | 672,6093* |
| Resíduo | 33 | 0,5987 | 2,154 | 15,647 | 50,4425 | 70,2959 |
| C.V. (%) | | 14,333 | 10,601 | 14,816 | 11,497 | 7,143 |

F.V. - Fontes de Variação; C.V. - Coeficiente de Variação; G.L. - Graus de Liberdade; * Significativo ($p < 0,05$); ^{ns} Não Significativo ($p > 0,05$).

O déficit hídrico foi imposto a partir dos 15 DAS, com a primeira análise aos 20 DAS e término aos 48 DAS, onde evidenciou-se o efeito do déficit hídrico sobre o acúmulo de matéria seca e a área foliar nas cultivares de feijão *Vigna*. Verificou-se, do ponto de vista estatístico, que as diferenças entre os acúmulos de matéria seca e área foliar tornaram-se evidentes a partir da terceira coleta, 34 DAS (Figuras 8 e 9). Percebeu-se com a aplicação da menor lâmina de irrigação (40% da ETc) menores valores aos 48 DAS para MSF, MSC, MSPA e AF, com comportamento semelhante nos três genótipos de feijão estudados. Tal fato confirma o efeito negativo do déficit hídrico sobre tais variáveis.

O comportamento do feijão *Vigna* segue a mesma tendência nas primeiras avaliações, sem muita distinção entre as lâminas aplicadas, constatando-se maior diferença nos valores da matéria seca e da área foliar a partir das avaliações realizadas após os 34 DAS, sendo evidenciado diferença com a elevação dos níveis de aplicação das lâminas. Tal fato pode estar relacionado com a água ser um dos fatores ambientais que mais influenciam a produção de massa seca vegetal, sendo que entre as cultivares de feijão *Vigna* avaliados, a cultivar ‘BRS Marataoã’ constatou-se os maiores valores de MSF e MSPA e a maior AF (Figura 7C, 9C e 9F, respectivamente), tendo a cultivar ‘BRS Aracé’ com o maior peso de MSC (Figura 8D).

A ocorrência de déficit hídrico provoca a diminuição de matéria seca e da área foliar juntamente com a produção, inviabilizando o processo fotossintético, uma vez que a água, além de ser componente básico da reação, também é responsável pela manutenção da transpiração, essencial para a permeabilidade do gás carbônico no mesófilo foliar (BUCHANAN et al., 2000). Alguns autores mencionam que a diminuição na área foliar se deu devido à redução do tamanho das células do parênquima paliádico. A semelhança entre os resultados são explicadas, o estresse hídrico também inibe a expansão celular, à medida que o conteúdo em água na célula diminui, esta se contrai e as paredes tornam-se flácidas, assim os solutos ficam cada vez mais concentrados e a membrana plasmática torna-se mais espessa (NELSON e MOSER, 1994; LEÃO, 2006).

Segundo Taiz e Zeiger (2004), a redução na área foliar das plantas ocorre como mecanismo de defesa da planta contra a deficiência hídrica. Dessa forma, com a área foliar menor, a transpiração é reduzida, conservando o suprimento de água limitado no solo, por um período maior. Nascimento (2009) corrobora com esses resultados, ao constatar que as lâminas de irrigação maiores poderiam implicar em maiores índices de área foliar e, conseqüentemente, redução de produtividade. De acordo com Freire Filho et al. (2005), o elevado teor de água no solo pode favorecer um intenso desenvolvimento vegetativo do feijão *Vigna* e valores do índice de área foliar e massa seca excessivamente altos, implicando em menor disponibilidade de luz para a planta em virtude do sombreamento das folhas superiores sobre as folhas inferiores do dossel, o que reduz a eficiência fotossintética e produtividade de grãos.

| | |
|----|----|
| A) | D) |
|----|----|

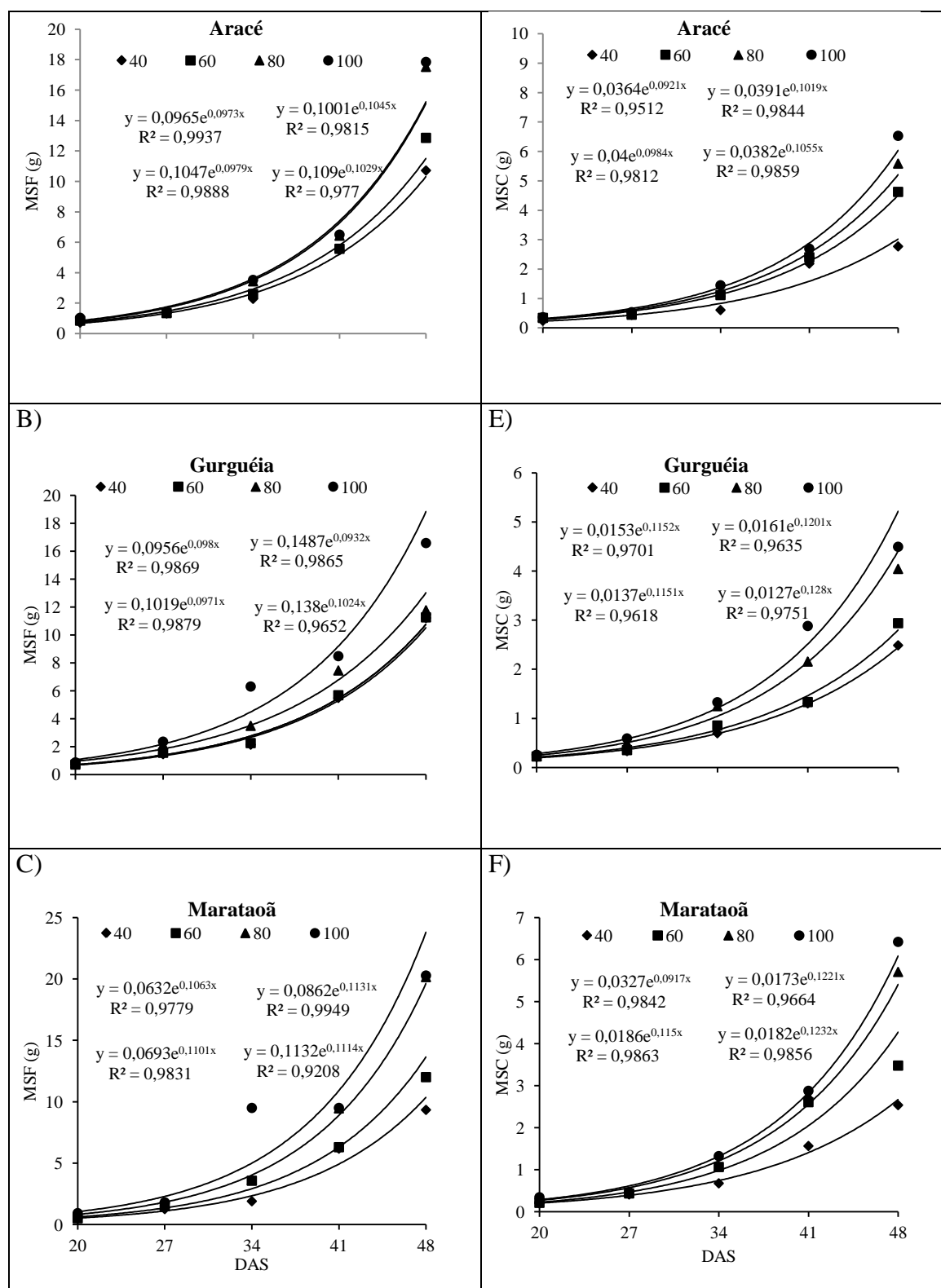


Figura 8. Massa seca das folhas (A, B e C) e do caule (D, E e F) para os genótipos de feijão *Vigna* ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’ em função do tempo. Catolé do Rocha/PB, 2014.

A)

D)

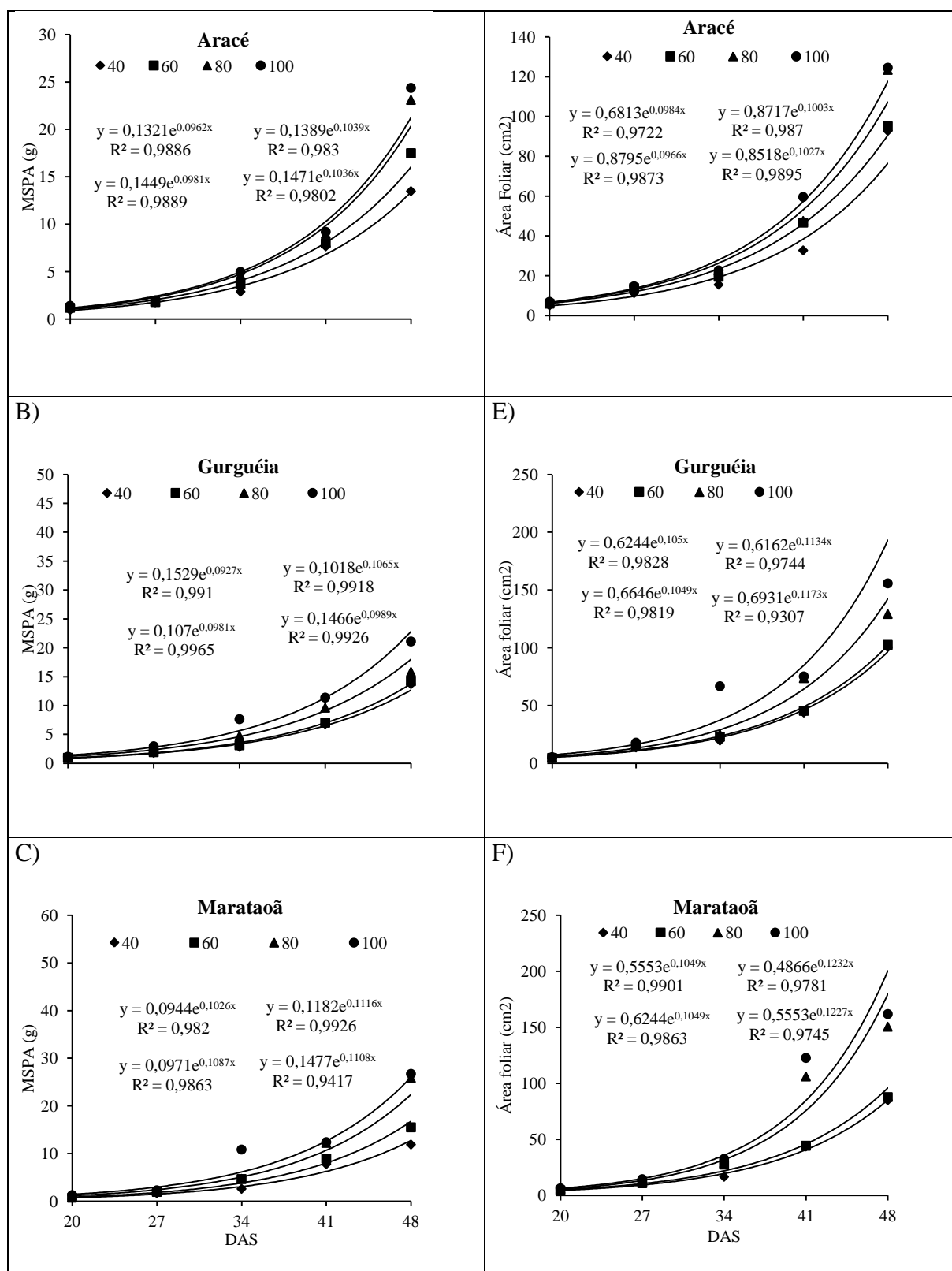


Figura 9. Massa seca da parte aérea (A, B e C) e área foliar por planta (D, E e F) para os genótipos de feijão *Vigna* ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’ em função do tempo. Catolé do Rocha/PB, 2014.

Na produção de matéria seca aos 48 DAS para o genótipo BRS Aracé, os dados obtidos se adequaram de forma quadrática em relação às lâminas de irrigação; foram estimados os pontos máximos de produção de MSPA, MSF e MSC de 126,5, 131,54 e 117,33 g, respectivamente, obtidos em lâminas estimadas em 100% da ETc (Figura 10A). Para o genótipo BR17 Gurguéia, houve comportamento diferenciado, visto que a MSPA e MSF cresceram quadraticamente e a MSC cresceu de forma linear com aumento das lâminas de irrigação, com acréscimo de 3,57% por aumento unitário da ETc (Figura 10B). A BRS Marataoã foi a que obteve os melhores resultados para as variáveis analisadas, com máximos em acúmulo de MSPA e MSF de 151,82, 133,5 g, respectivamente, enquanto a MSC aumentou linearmente em 21,74% quando se aumentou a disponibilidade hídrica às plantas (Figura 10C).

Em relação à área foliar (Figura 10D, 10E e 10F), os genótipos BRS Aracé, BR17 Gurguéia e BRS Marataoã tiveram um desempenho linear com acréscimo unitário de 0,86, 1,75 e 7,89 g, em relação ao aumento das lâminas de irrigação, evidenciando-se o efeito do déficit hídrico sobre o acúmulo de matéria seca e a área foliar nas cultivares de feijão *Vigna*. Verificou-se que as diferenças entre os acúmulos de matéria seca e área foliar tornaram-se evidentes a partir do aumento das lâminas de irrigação (Figura 10). Percebeu-se, portanto, que com a aplicação da menor lâmina de irrigação (40% da ETc) obteve menores valores para MSF, MSC, MSPA e AF, com comportamento semelhante nos três genótipos de feijão estudados. Tal fato confirma o efeito negativo do déficit hídrico sobre o crescimento do feijoeiro.

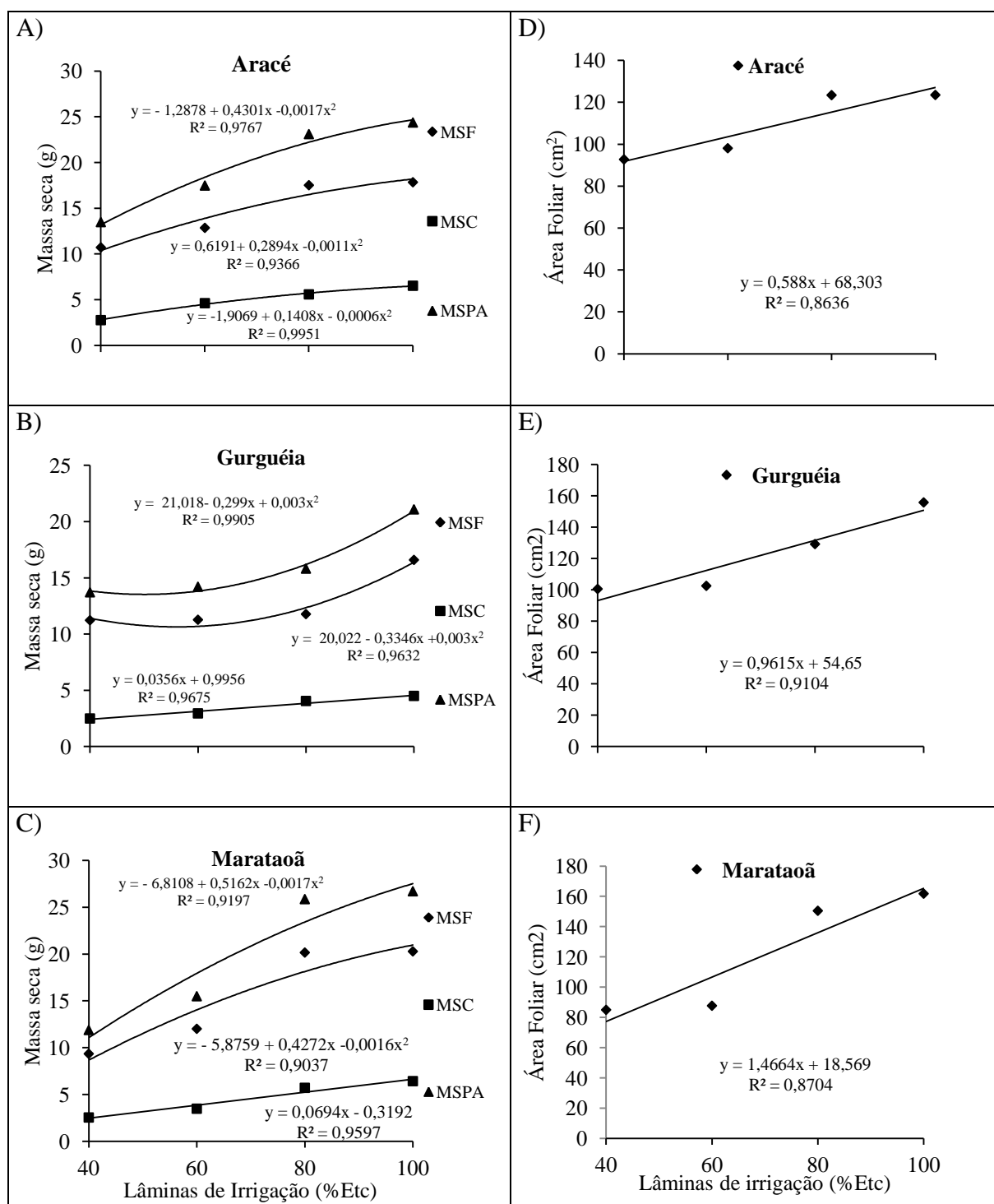


Figura 10. Massa seca (MS) (g) (A, B e C) e área foliar por planta (AF) (cm²) (D, E e F) para os genótipos de feijão *Vigna* ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’ em função das lâminas aos 48 DAP. Catolé do Rocha/PB, 2014.

5.2. Variáveis Fisiológicas (Trocas Gasosas)

Com a aplicação das lâminas de irrigação, verificou-se que houve diferenças significativo nas variáveis fisiológicas: concentração interna de carbono (Ci), condutância estomática (gs), fotossíntese líquida (A), eficiência instantânea do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) quando analisadas na fase V5. Entre os genótipos de feijão *Vigna* e a interação genótipo x lâmina, não houve diferença significativa (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo das análises de variância para as variáveis de Concentração Interna de CO₂ (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), Condutância Estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Fotossíntese Líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Eficiência Instantânea do uso da água (EiUA) [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1})^{-1}$] e Eficiência Instantânea de Carboxilação (EiC) [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] em genótipos de feijão *Vigna*. Catolé do Rocha/PB, 2014.

| F.V. | G.L. | Quadrados Médios | | | | | |
|---------------|------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | | Ci | E | gs | A | EUA | EiC |
| Bloco | 3 | 224,0069 ^{ns} | 0,0592 ^{ns} | 0,0445 ^{**} | 65,3631 ^{**} | 3,5184 ^{**} | 0,0016 [*] |
| Lamina (La) | 3 | 847,1921 ^{**} | 0,1762 ^{ns} | 0,0141 [*] | 37,5593 ^{**} | 2,3683 ^{**} | 0,0030 ^{**} |
| Genótipo (Ge) | 2 | 82,1736 ^{ns} | 0,2591 ^{ns} | 0,0048 ^{ns} | 7,5912 ^{ns} | 0,4850 ^{ns} | 0,0004 ^{ns} |
| Ge x La | 6 | 15,3032 ^{ns} | 0,3332 ^{ns} | 0,0004 ^{ns} | 1,8418 ^{ns} | 0,1773 ^{ns} | 0,00007 ^{ns} |
| Resíduo | 33 | 109,46 | 0,1709 | 0,0042 | 7,9793 | 0,2143 | 0,0003 |
| C.V. (%) | | 5,95 | 8,39 | 19,97 | 13,09 | 10,52 | 16,03 |

F.V. - Fontes de Variação; C.V. - Coeficiente de Variação; G.L. - Graus de Liberdade; **Significativo ($p < 0,01$); *Significativo ($p < 0,05$); ^{ns} Não Significativo ($p > 0,05$).

Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Silva et al. (2010) ao acompanhar o curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão *Vigna* sob deficiência hídrica, onde evidenciaram efeito significativo das lâminas de irrigação sobre os aspectos fisiológicos, encontrando, com reposição de 25% da água perdida por evapotranspiração, reduções nas taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração.

Na concentração interna de CO₂ (Ci), houve efeito significativo das lâminas de irrigação com maior acúmulo de gás ($191,16 \mu\text{mol mol}^{-1}$) observado nas plantas de feijão *Vigna* cultivadas com lâminas de maior estresse (40% da ETc) (Figura 10A). Por outro lado, nota-se pequena variação nas taxas de Ci com o aumento na disponibilidade hídrica no solo ao aplicar lâminas de água de 40 a 100% da ETc, sendo que estes resultados podem estar relacionados ao fato do feijão *Vigna* possuir maior tolerância à

déficits hídricos. Ressalte-se que o acúmulo de Ci no mesófilo foliar está associado diretamente com o fechamento dos estômatos e a redução na assimilação de CO₂ (PAIVA et al., 2005). Nesse sentido, os resultados obtidos podem estar associados ao comportamento da condutância estomática e a assimilação de dióxido de carbono ou fotossíntese líquida.

Para a variável condutância estomática (gs), observou-se, entre as médias, redução de 30,30% no valor crítico de 0,2861 mol m⁻² s⁻¹ encontrado com a reposição da lâmina de 40% da ET_o para todas as cultivares (BRS Aracé, BR17 Gurguéia e BRS Marataoã) (Figura 9B). Esta redução na gs foi obtida em relação ao maior valor de condutância entre as médias (0,3728 mol m⁻² s⁻¹) encontrada na maior lâmina de irrigação (100% ET_c). Tendo em vista que todas as cultivares tiveram o comportamento linear em relação à disponibilidade das lâminas de irrigação, obtendo assim os maiores níveis de condutância estomática com o aumento das lâminas de 40 a 100% da ET_c.

As indagações sobre a atividade estomática é de grande valia para o entendimento dos processos fisiológicos, sendo esse mecanismo o principal meio de trocas gasosas entre a atmosfera e o interior da maquinaria fotossintética (SINGH e REDDY, 2011), haja vista, que gs é responsável por quase todas as atividades dos fatores internos e externos da planta quando ligados ao déficit hídrico, consistindo em um fator altamente integrativo para o efeito global do estresse hídrico sobre os parâmetros fisiológicos (MEDRANO et al., 2002). Silva et al. (2010) constataram resultados superiores (0,611 e 0,635 mol m⁻² s⁻¹) aos mencionados, ao irrigar plantas de feijão *Vigna* com 100 e 50% da água evapotranspirada, respectivamente, o que se justifica pela realização das leituras no período de 8:00 horas da manhã, notadamente, ocorrendo reduções a partir desse ponto. Larcher (2006) informa que nas plantas submetidas à deficiência hídrica, ocorre a redução da abertura estomática e redução do tempo em que os estômatos permanecem abertos. Ressalta-se que a redução da condutância estomática induz a menor transpiração e, por consequência, menor perda de água, resultando em maior tolerância das plantas a estresses abióticos. Destaca-se Paiva et al. (2005), que a gs por ter função de regular as trocas gasosas, possui grande afinidade com o processo fotossintético, participando diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Para a fotossíntese líquida (A), a redução entre as lâminas de 100% para 40% da ET_c, ocasionou reduções lineares nos valores de taxa fotossintética das plantas de feijão *Vigna*. O maior valor de taxa fotossíntese foi de (23,57 μmol m⁻² s⁻¹) observado nas

plantas com irrigação de 100% da ETc, e o menor (19,32 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foi obtido nas plantas com irrigação deficitária de 40% da ETc (Figura 10C). No entanto, Pinto (2006), em pesquisa sobre relações hídricas no amendoim, encontrou resultados semelhantes, verificando que, com o aumento da restrição hídrica às plantas, ocorreu redução na taxa fotossintética. Segundo Taiz e Zeiger (2004) esta redução da fotossíntese líquida ao déficit hídrico está associada, em parte, às altas temperaturas e a baixa umidade do ar, que é características marcantes do clima do Semiárido Paraibano.

O estudo das lâminas diferiram significativamente para a variável eficiência instantânea do uso da água (EiUA), onde foram verificadas reduções da ordem de 29,55% entre o maior valor, 4,90 [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1})^{-1}$], obtido na lâmina de 100% da ETc e o menor de valor, 3,78 [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1})^{-1}$], registrado na menor lâmina de 40% da ETc (Figura 10D). Shimazaki et al. (2007) reportaram que a assimilação de dióxido de carbono do meio externo promove perda de água e que a diminuição desta perda também restringe a entrada de CO₂.

Para Jaimez et al. (2005), a relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência instantânea no uso de água (EiUA), em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde. Neste sentido, os acréscimos observados na EiUA, notadamente nas lâminas de 40 a 100% da ETc, são reflexos dos aumentos observados na taxa de fotossíntese líquida (A) das plantas de feijão *Vigna*. Taiz e Zeiger (2009) e Melo et al. (2010) concluíram que as trocas gasosas são influenciadas pelas condições climáticas. Assim, as diminuições registradas na EiUA com as menores lâminas, podem estar atreladas aos aumentos verificados na radiação solar acumulada e na temperatura do ar, bem como na redução da unidade relativa do ar (Figura 2).

A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) foi afetada pela aplicação das lâminas de irrigação, de acordo com o aumento de 40 para 100% da ETc. Nota-se maior EiC 0,1429 [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] nas plantas irrigadas com 100% da ETc, contrastando com o menor valor de 0,1031 [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] verificado na menor lâmina (40% da ETc), onde observou-se redução de 38,60% (Figura 10E). Para Machado et al. (2005), a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) possui estreita relação com a concentração intracelular de CO₂ e com a taxa de assimilação de dióxido de carbono. Alguns autores como Silva (2012) em comportamento fisiológico da berinjela cultivada em ambiente protegido sob taxas de reposição hídrica, constataram que valores elevados de concentração interna de CO₂, associado ao aumento na

condutância estomática, indicam um acréscimo na eficiência instantânea de carboxilação, no presente trabalho obtiveram-se resultados divergentes, onde os valores de (C_i) aumentaram com a restrição hídrica associados com a diminuição na (g_s) que consequentemente diminuiu a taxa de (A), provavelmente devido a problemas na carboxilação fato que diminuiu a (EiC).

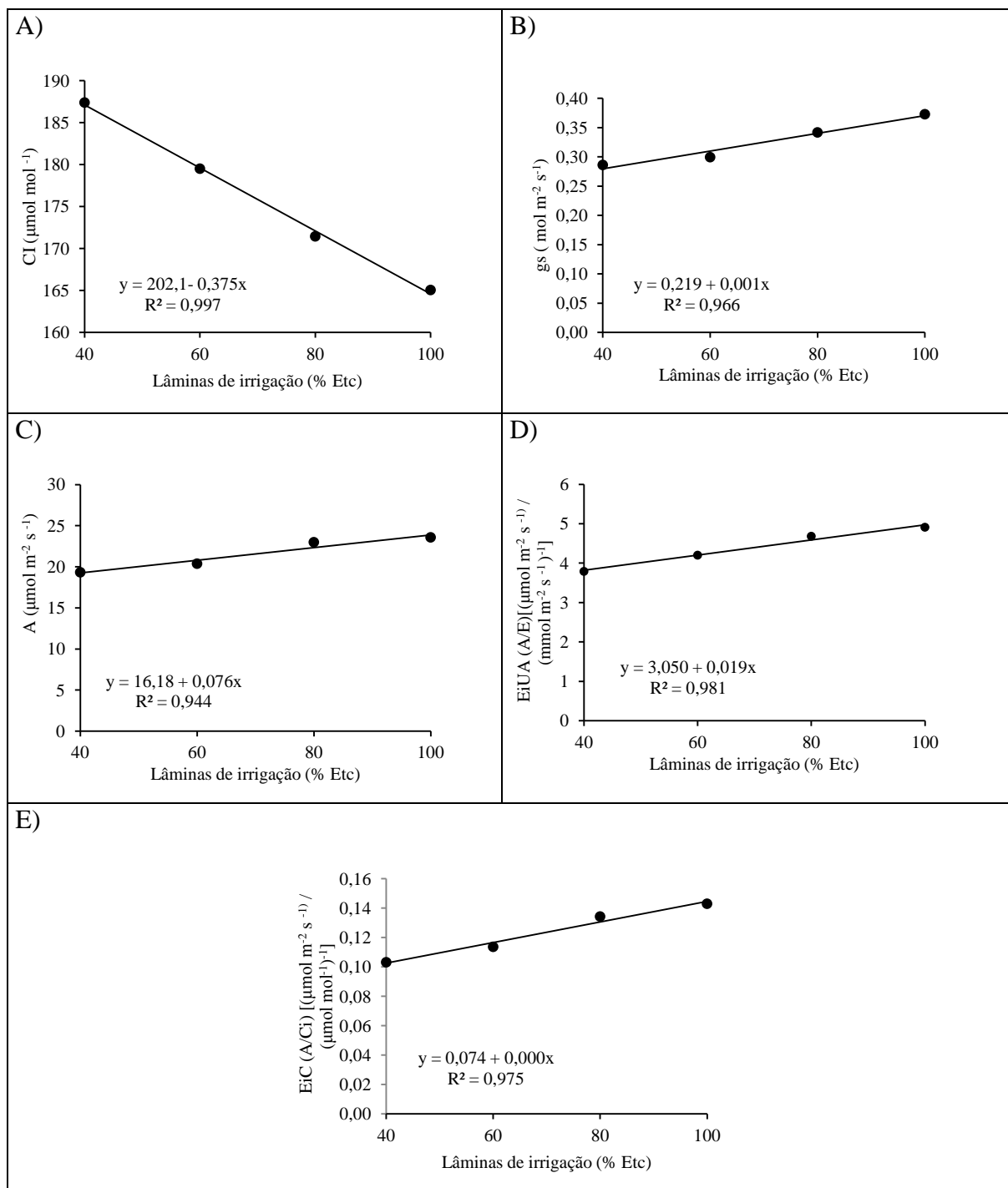


Figura 11. Concentração interna de carbono (C_i) (A), condutância estomática (g_s) (B), fotossíntese líquida (A) (C), eficiência instantânea do uso da água ($EiUA$) (D) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) (E) sob lâminas de irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

5.3. Variáveis Bioquímicas

No estudo das variáveis bioquímicas, os fatores lâminas de irrigação (La) e genótipos de feijão *Vigna* (Ge) influenciaram, significativamente, nos resultados de todas as variáveis analisadas tanto nas avaliações sob estresse de 24 horas (E) como nas avaliações após a reidratação (R) das plantas com os níveis de irrigação determinados (Tabela 7). A interação entre esses fatores (Ge x La) também afetou todas as características bioquímicas analisadas, exceto o osmolito trealose (TER) e as enzimas superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT) nas folhas de plantas após serem reidratadas (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo das análises de variância para as variáveis bioquímicas: prolina (PRO), glicina (GLI), trealose (TER), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbado peroxidase (APX), clorofila A (ClorA), clorofila B (ClorB) e carotenóides (Carat) em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com as lâminas. Catolé do Rocha/PB, 2014.

| F.V. | G.L. | Quadrados Médios | | | | | |
|---------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | PRO (E) | PRO (R) | GLI (E) | GLI (R) | TRE (E) | TRE (R) |
| Bloco | 3 | 0,0003 ^{ns} | 0,0003 ^{ns} | 0,0704 ^{ns} | 0,6994 ^{ns} | 0,0006 ^{ns} | 0,0009 ^{ns} |
| Lâmina (La) | 3 | 0,1424** | 0,1374** | 2899,306** | 2143,34** | 0,6845** | 0,0275** |
| Genótipo (Ge) | 2 | 0,5664** | 0,1636** | 399,1109** | 211,7410** | 0,1986** | 0,0240* |
| Ge x La | 6 | 0,0288** | 0,0345** | 86,6651** | 124,5118** | 0,0649** | 0,0063 ^{ns} |
| Resíduo | 33 | 0,0004 | 0,0011 | 0,32 | 0,3763 | 0,0018 | 0,0063 |
| C.V. (%) | | 4,33 | 14,01 | 0,95 | 1,09 | 2,89 | 6,25 |

| F.V. | G.L. | Quadrados Médios | | | | | |
|---------------|------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | SOD (E) | SOD (R) | CAT (E) | CAT (R) | APX (E) | APX (R) |
| Bloco | 3 | 1,1511 ^{ns} | 1,7409 ^{ns} | 0,00001 ^{ns} | 0,000001 ^{ns} | 0,000001 ^{ns} | 0,000003 ^{ns} |
| Lâmina (La) | 3 | 106,9001** | 65,5930** | 0,0001** | 0,00009** | 0,0002** | 0,00007** |
| Genótipo (Ge) | 2 | 231,0704** | 2,7271** | 0,2427** | 0,00005** | 0,0002** | 0,00006** |
| Ge x La | 6 | 31,7178** | 1,0108 ^{ns} | 0,00001** | 0,00001 ^{ns} | 0,00002** | 0,00001** |
| Resíduo | 33 | 1,74 | 0,9127 | 0,000001 | 0,000005 | 0,000001 | 0,000002 |
| C.V. (%) | | 2,88 | 2,52 | 2,61 | 5,88 | 1,19 | 1,85 |

| F.V. | G.L. | Quadrados Médios | | | | | |
|---------------|------|------------------|-----------|----------------------|----------------------|-----------|----------------------|
| | | ClorA (E) | ClorA (R) | ClorB (E) | ClorB (R) | Carat (E) | Carot (R) |
| Bloco | 3 | 0,1555* | 0,1558* | 0,1159 ^{ns} | 0,1159 ^{ns} | 0,1369* | 0,1371 ^{ns} |
| Lâmina (La) | 3 | 3,2654** | 3,2646** | 3,3651** | 3,3651** | 3,4392** | 3,4396** |
| Genótipo (Ge) | 2 | 5,5713** | 5,5689** | 5,4314** | 5,4314** | 5,9021** | 5,8978** |
| Ge x La | 6 | 0,5888** | 0,5879** | 0,4907** | 0,4907** | 0,6158** | 0,6155** |
| Resíduo | 33 | 0,0500 | 0,05 | 0,0612 | 0,0612 | 0,0496 | 0,0496 |
| C.V. (%) | | 5,85 | 5,81 | 12,10 | 11,68 | 12,82 | 12,3 |

F.V. - Fontes de Variação; C.V. - Coeficiente de Variação; G.L. - Graus de Liberdade; **Significativo ($p < 0,01$); *Significativo ($p < 0,05$); ^{ns} Não Significativo ($p > 0,05$).

A atividade do osmorregulador prolina nos genótipos de feijão estudados foi mais intensificada quando as plantas passaram por um déficit hídrico maior, como na lâmina de 40% da ETc, sendo o conteúdo desse osmolito reduzido quando a disponibilidade hídrica do solo foi aumentada, isto é com o aumento gradativo das lâminas de irrigação (Figura 12). Fato este observado tanto nas plantas com estresse de 24 horas, como quando foi realizada a reidratação, evidenciando que o acúmulo deste aminoácido nas plantas está relacionado com a quantidade de água disponível no solo. Entre as cultivares analisadas, a ‘BRS Marataoã’ apresentou maiores níveis de prolina (0,86 mmol g⁻¹ MF) quando as plantas foram irrigadas com 40% da ETc, reduzindo 426% o conteúdo de prolina com a reidratação das plantas (Figura 12A). Nos níveis de irrigação com déficit hídrico (40, 60 e 80% da ETc) o genótipo ‘BRS Marataoã’ teve melhor recuperação ao estresse, com níveis de prolina inferiores aos verificados nas cultivares de feijão ‘BRS Aracé’ e ‘BR17 Gurguéia’ quando foram reidratadas (Figura 11).

Bidóia et al. (2006) constataram acúmulo de prolina, em cana-de-açúcar, de aproximadamente 151,3%, com o aumento da deficiência hídrica no solo. Em cultivares de milho sob condições de deficiência hídrica, Efeoglu et al. (2009) observaram aumento significativo nos teores de prolina, porém, quando as plantas foram reidratadas, verificou-se redução nos teores do aminoácido. Ressalte-se que, no ajuste osmótico de folhas com baixo potencial hídrico, a prolina se acumula como soluto compatível para estabilizar membranas e manter a conformação de proteínas, o que impede a desidratação do citosol (KISHOR et al., 2005).

Existem relatos que consideram o osmolito prolina como o principal soluto compatível em plantas sob condições de deficiência hídrica (NAYYAR, 2003; ABDUL JALEEL et al., 2007; ASHRAF e FOOLAD, 2007). Entretanto, a função da prolina na resposta ao estresse hídrico é questionada, isso devido em plantas superiores, o acúmulo de prolina pode estar relacionado à síntese “*de novo*” e à diminuição de seu catabolismo. Porém, a baixa utilização de prolina durante o estresse, em consequência da redução na síntese protéica e do aumento na proteólise, também pode contribuir para seu acúmulo (BRITO et al., 2008). Esses autores enfatizam que toda a controvérsia em torno da função da prolina pode refletir na predominância de sua ação em outros mecanismos de resistência que não o ajuste osmótico.

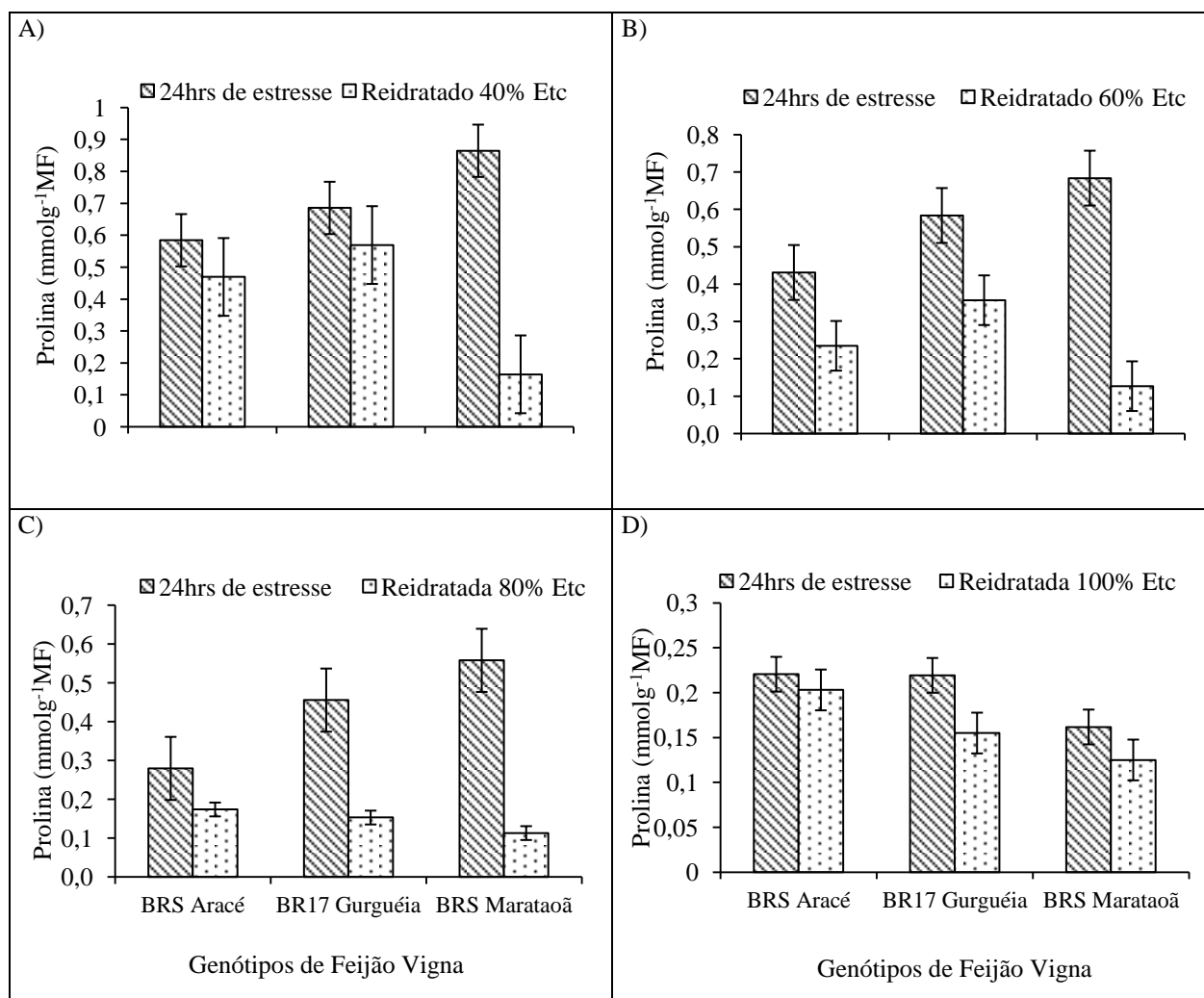


Figura 12. Teor de prolina em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

Com relação à atividade da glicina-betaína, observou-se acúmulo com o aumento da restrição hídrica nas plantas dos genótipos de feijão *Vigna*, principalmente na lâmina de 40% da Etc (Figura 13A). Por outro lado, após a reidratação a concentração de glicina nas folhas foi reduzida nos genótipos em todos os níveis de reposição hídrica, com destaque para a cultivar de feijão ‘BRS Marataoã’ que obteve redução no acúmulo de glicina de 13,5 e 13,9% nas menores lâminas (40 e 60% da ETC) (Figura 13A e B), sendo que na lâmina de 100% os genótipos apresentaram uma variação mínima em resposta a reidratação hídrica (Figura 13).

A glicina betaína, por estar localizada no citoplasma das células torna-se importante para a tolerância à deficiência hídrica, sendo sua síntese desencadeada a partir da falta de água no meio celular (SZABADOS et al., 2011). Esses resultados

encontrados podem indicar que a glicina-betaína contribui para o ajuste osmótico em plantas de feijão *Vigna* sob o efeito interativo do estresse em solos com baixo potencial hídrico.

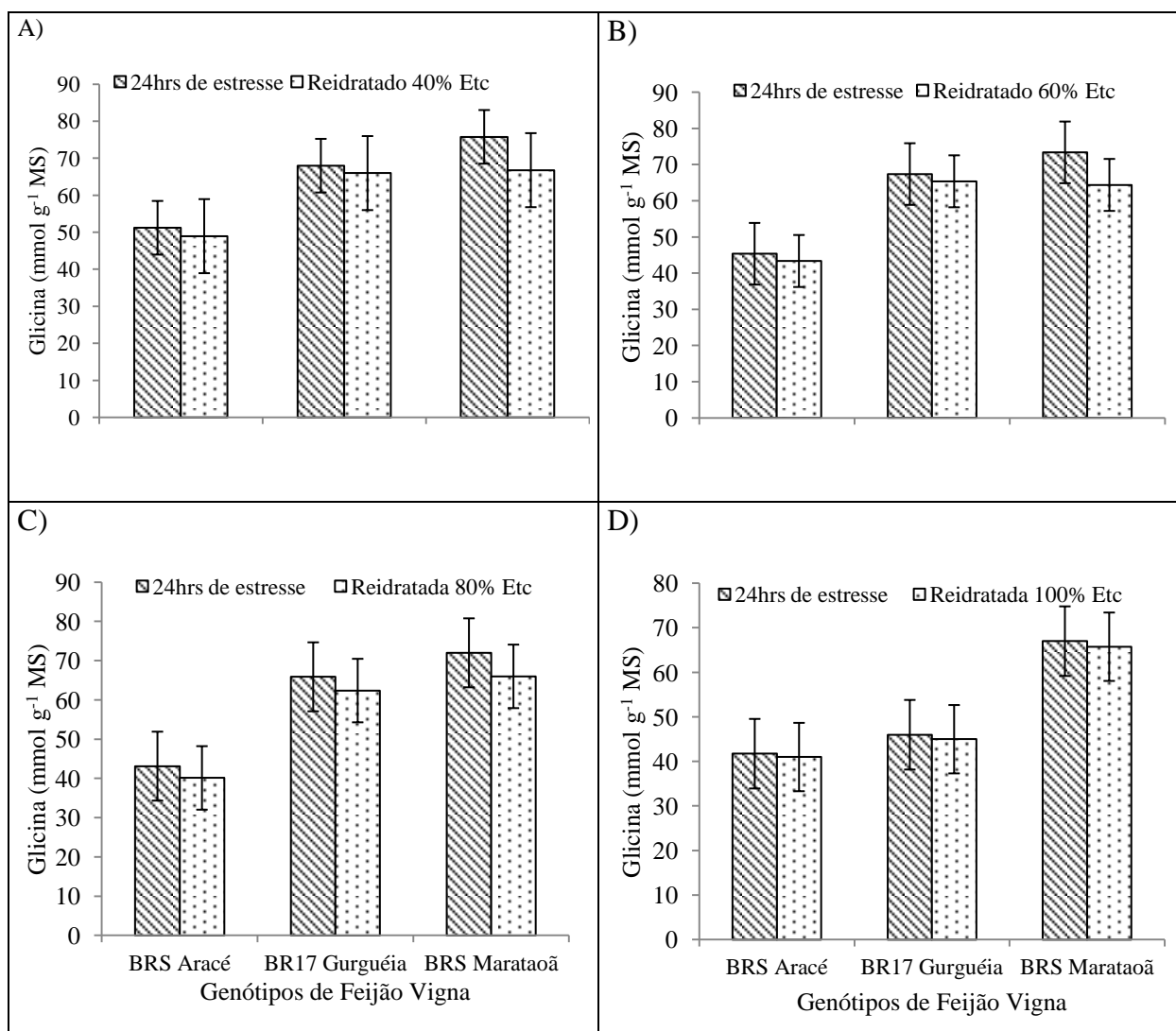


Figura 13. Teor de glicina betaína em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

Em condições de estresse hídrico, os genótipos de feijão *Vigna* mostraram capacidade para acumular o dissacarídeo trealose, com maiores teores evidenciado na menor reposição hídrica (40% da ETC) e com melhor visualização na cultivar ‘BRS Marataoã’ (Figura 14A). Foi averiguado, também, após a reidratação das plantas, redução nos teores de glicina, independente do nível de irrigação, com maiores reduções (53%) no genótipo ‘BRS Marataoã’ na menor lâmina. Por outro lado, percebe-se que a ‘BRS Aracé’ teve menor comportamento na atividade da trealose com valores variados de 1,34 a 1,30 nas plantas com 24 horas de estresse e 1,34 a 1,26 após a reidratação nos

níveis estabelecidos de irrigação (Figura 14). Esse fato pode ser um indicativo de que essa cultivar não tolera déficits hídricos elevados mesmo por pouco tempo e que sua recuperação é lenta por ter um metabolismo osmolito pouco atuante.

Queiroz (2006) constatou acentuado acúmulo de trealose em cultivar de cana-de-açúcar quando submetida à deficiência hídrica, onde o grau de resistência à seca foi correlacionado à quantidade de trealose acumulada nos tecidos. Outras cultivares de gramíneas resistentes à seca apresentam maior acúmulo de trealose conforme o aumento da deficiência hídrica no solo (GARG et al., 2002; EL-BASHITI et al., 2005).

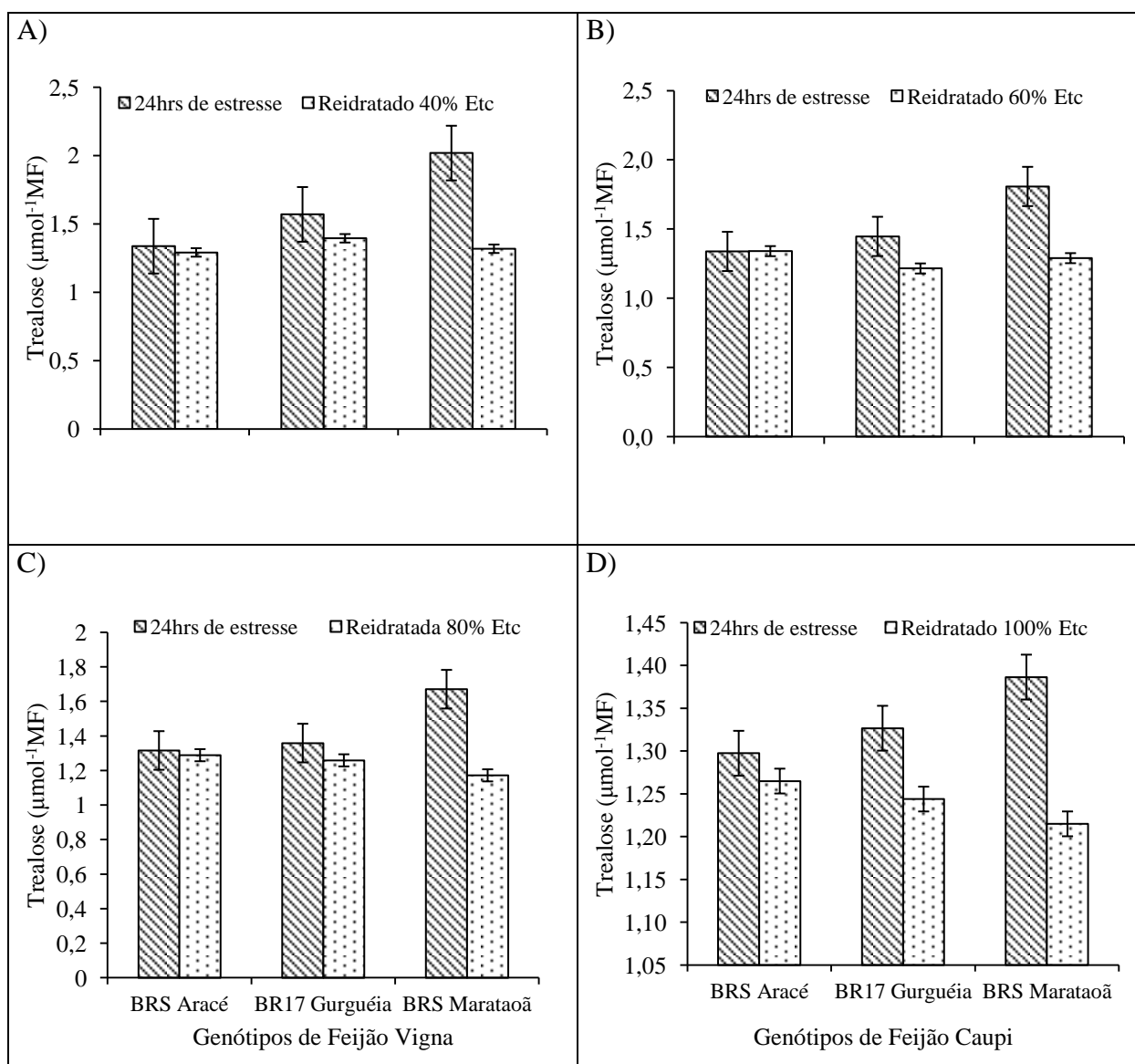


Figura 14. Teor de trealose em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

A imposição do estresse hídrico induziu o aumento da atividade de enzimas antioxidantes em todos os genótipos estudados, com acentuada atividade nas menores lâminas de irrigação, diminuindo a ação das enzimas (SOD, CAT e APX) quando ocorreu o aumento na reposição de água no solo. Destaque-se que o genótipo ‘BRS Marataoã’ obteve as maiores concentrações sob estresse e a melhor superfície de resposta após a reidratação.

De forma geral, percebe-se que a maior ativação da enzima superóxido dismutase (SOD) nos genótipos de feijão *Vigna* ocorre com o aumento da restrição de água aplicada, onde as plantas permanecem estressadas por maior tempo (Figura 15 A). É constatado, ainda, que quanto maior a intensidade do estresse hídrico, maior é a atuação da enzima SOD, principalmente nas avaliações realizadas nas plantas estressadas por 24 horas. Após a reidratação das plantas de feijão *Vigna*, observou-se redução no teor de SOD nas folhas para todos os níveis de reposição de água, porém com maiores diferenças encontradas no genótipo ‘BRS Marataoã’ (42 e 40%) nas lâminas de 40 e 60% da ETc quando relacionado com os valores obtidos na avaliação com estresse (Figura 15A e B). Essas expressões de rápida redução dos níveis de atividade enzimática da SOD com a reidratação, mesmo quando a reposição hídrica foi de 40 e 60% da ET_o, pode ser indício de que a cultivar de feijão possui rápida recuperação ao estresse quando disponibiliza pouca água no solo, o que torna uma característica de adaptabilidade ao ambiente semiárido.

É importante ressaltar que na lâmina de (100% da ETc) a atividade da enzima permaneceu com pouca variabilidade entre os genótipos tanto nas folhas estressadas por 24 horas, quanto após a reidratação, verificando-se valores superiores no genótipo de feijão ‘BRS Aracé’ (Figura 15D). Esse fato justifica a ação da atividade enzimática da SOD somente quando os tecidos vegetais passam por algum estresse hídrico. Ressalta-se, ainda, que a SOD é a primeira enzima envolvida no sistema de defesa das plantas quando a célula detecta um sinal de estresse, sendo ela responsável pela formação direta de diferentes espécies reativas de oxigênio (APEL e HIRT, 2004; SANKAR et al., 2007).

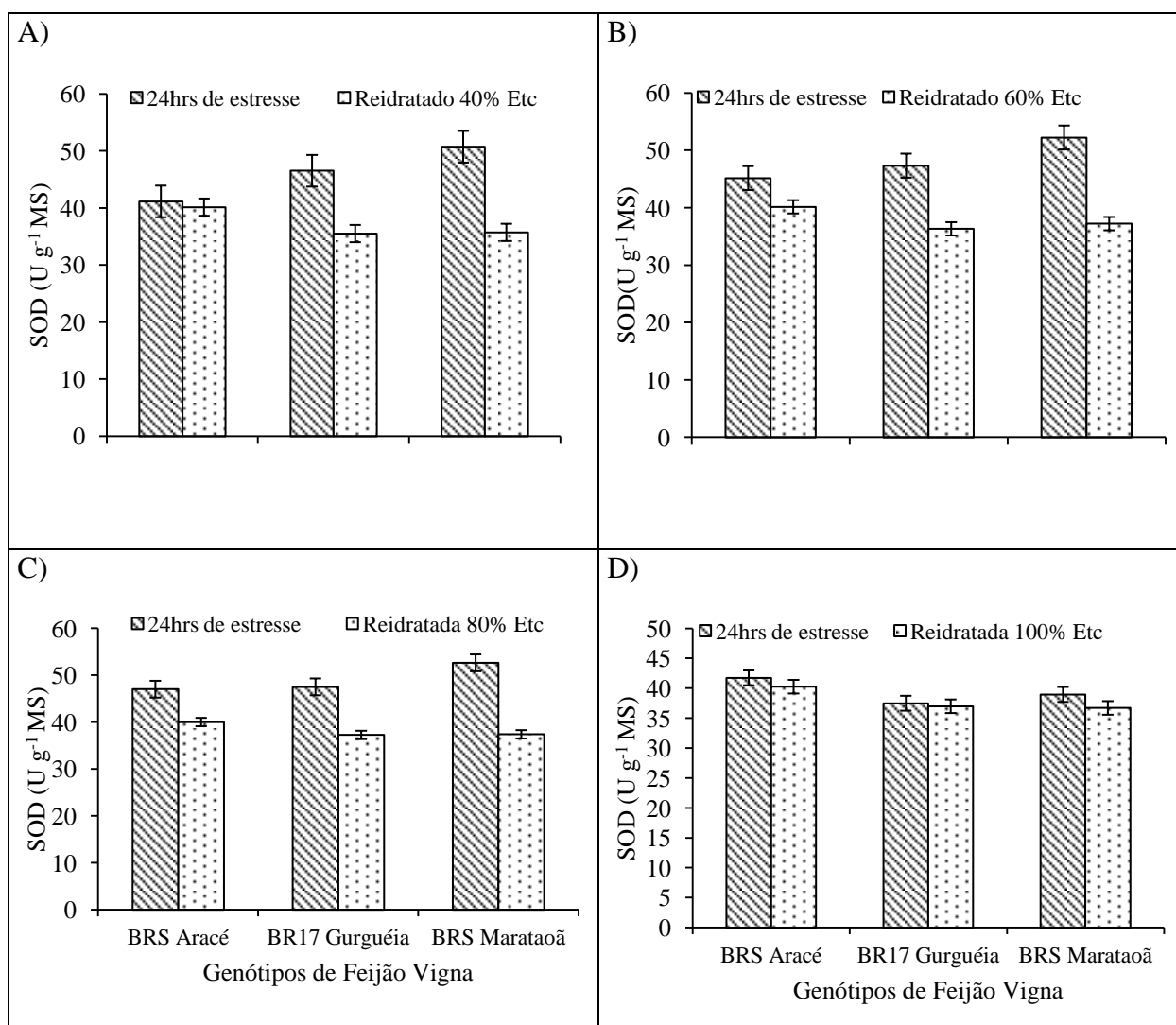


Figura 15. Atividade enzimática da SOD em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

A expressão enzimática da catalase (CAT) observada, nos genótipos de feijão *Vigna*, especialmente no genótipo ‘BRS Marataoã’, o qual correspondeu a cultivar com melhores valores de CAT para todos os níveis de irrigação, evidenciando sua tolerância ao estresse hídrico, onde nas lâminas com maior restrição hídrica (40% da ETC) foi notório a maior atividade da enzima catalase (CAT) nas folhas de feijão com estresse (Figura 16A). Em outro sentido, as plantas de feijão *Vigna*, depois de reidratadas observou-se valores de CAT com tendência decrescente em todos os genótipos ao aumentar a reposição das lâminas, com destaque para a ‘BRS Marataoã’ que obteve redução de 25% na ação da CAT quando foi reidratada com 40% da ETC (Figura 16A). Esse genótipo também manteve reduções elevadas da CAT quando as plantas foram reidratadas com as lâminas de menor déficit hídrico (80 e 100% da ETC), demonstrando melhor recuperação das membranas celulares quanto aos demais genótipos. Dessa

forma, ressalte-se que a catalase possui uma função crucial marcante que é atuar como indicador ao estresse hídrico.

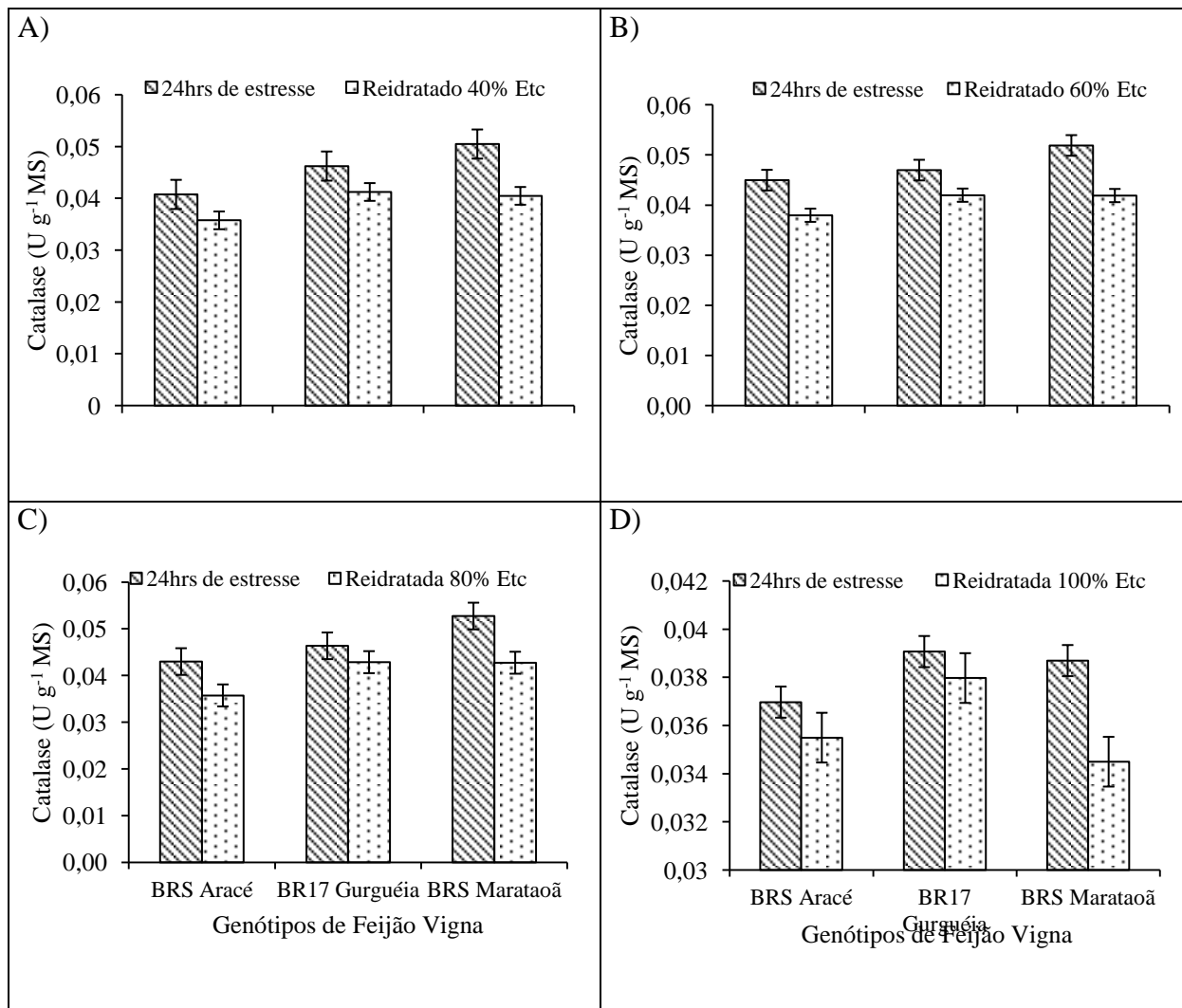


Figura 16. Atividade enzimática da catalase (CAT) em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

Com relação à atividade da enzima peroxidase (APX), nota-se que nas menores lâminas de irrigação, principalmente nos genótipos ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’, apresentaram os maiores níveis de APX (Figura 16A e B). Quando as plantas foram reidratadas, vê-se redução nos níveis de APX obtidos nas lâminas em relação aos observados nas plantas sob estresse, sendo a maior redução (8,5%) encontrada no ‘BRS Marataoã’, evidenciada entre os valores obtidos na reposição de 40% da ETC (Figura 17A). O conteúdo de APX nas folhas com a reposição de 100% da ETC pouco foi alterada entre os genótipos, constatando-se pequena redução com a reidratação das plantas (Figura 17D).

As enzimas peroxidases são substâncias de elevado peso molecular, capazes de eliminar o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), produzido durante o processo de dismutação não enzimática ou enzimática (CAVALCANTI et al., 2005). Destaque-se que quando a planta passa por déficit hídrico e em seguida ocorre uma reidratação, recupera-se do estresse, o que indica que a planta catalisou a transferência de elétrons para H_2O_2 formando $2H_2O$, mantendo assim a integridade da membrana (ZOZ et al., 2013). Esse fato possivelmente ocorreu nas plantas submetidas à reposição de 40 e 60% da ETc, a qual foi constatada maior variação.

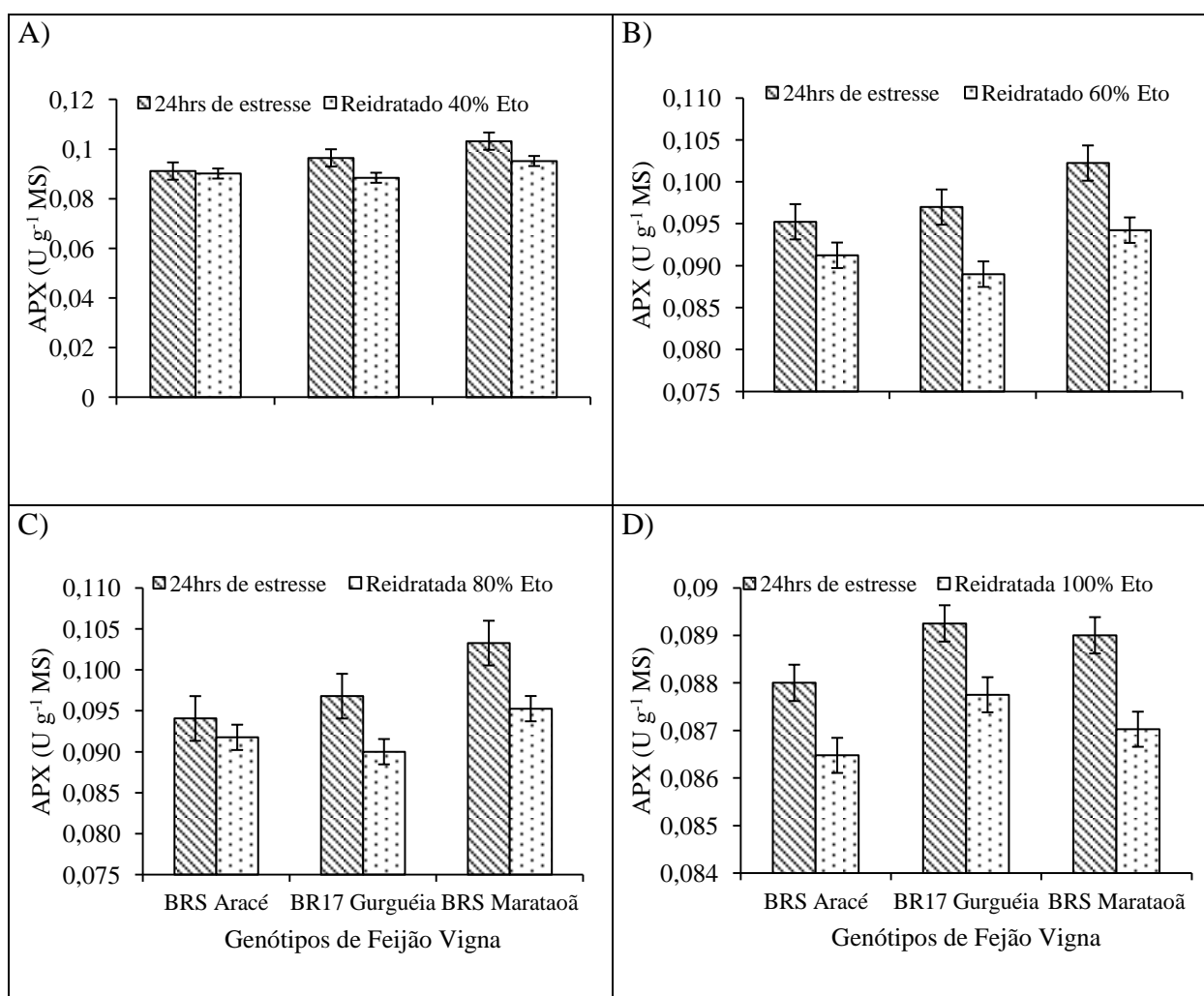


Figura 17. Atividade enzimática da Peroxidase (APX) em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

Entre os pigmentos fotossintetizantes, a clorofila *a* é o mais importante e atuante nas folhas. No estudo em questão, verifica-se que a clorofila *a* manteve-se maior concentrada nos genótipos com estresse hídrico severo, independente da reidratação (Figura 18A). Nota-se redução no teor desse pigmento em todos os genótipos de feijão

Vigna quando a disponibilidade hídrica do solo foi maximizada, apresentando comportamento semelhante entre as cultivares com a reposição de 100% da ETc (Figura 18D). Entretanto, o genótipo com maior destaque foi o ‘BRS Marataoã’ com diferenças de 44, 28 e 26% em relação ao ‘BRS Aracé’ após a reidratação com as lâminas deficitárias de 40, 60 e 80% da ETc, respectivamente (Figura 18A, B e C).

Esses resultados não corroboram com os relatos de Tambussi et al. (2000) e Liu et al. (2011) que relatam alterações na clorofila *a* com tendência a redução quando a restrição hídrica é acentuada.

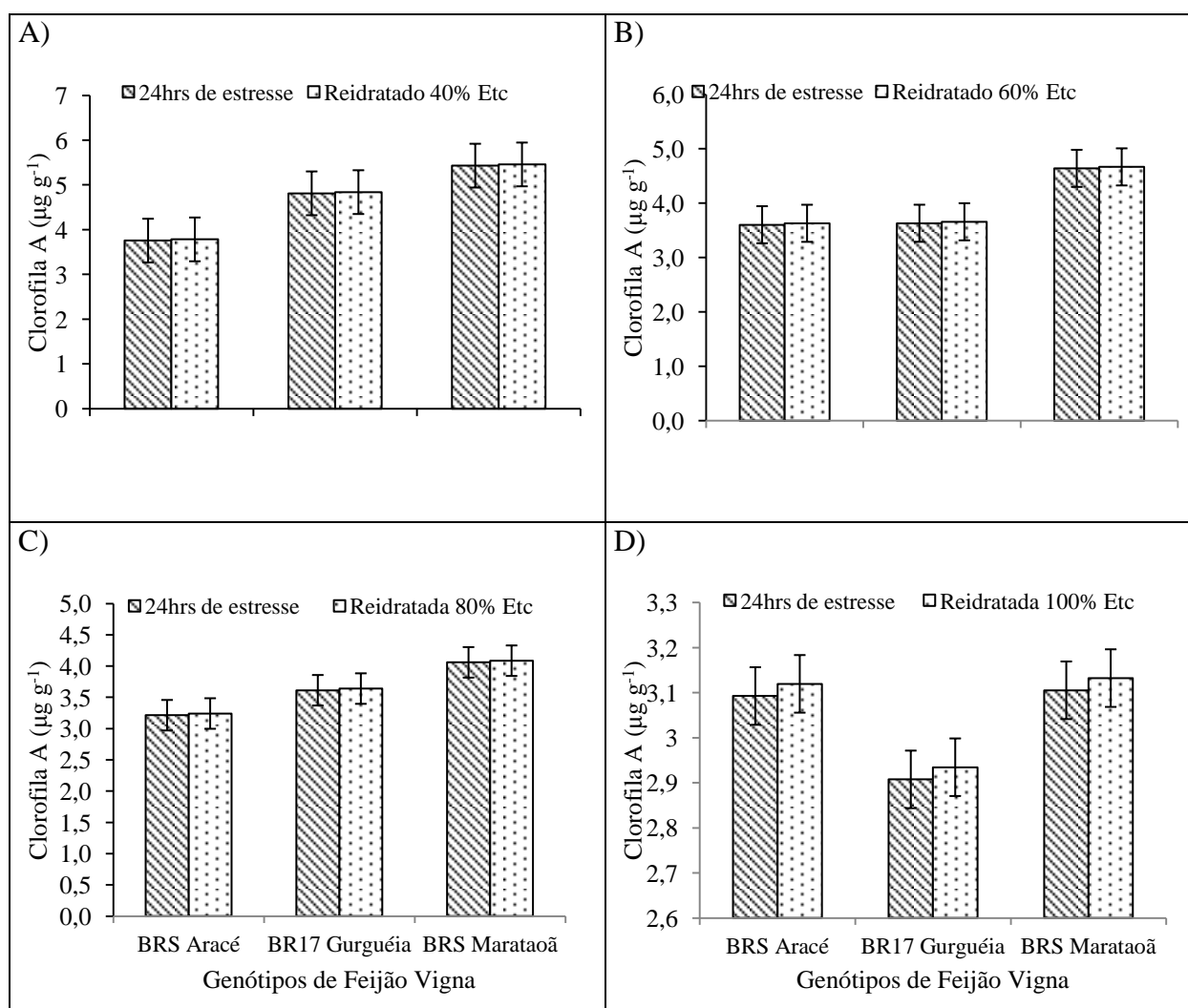


Figura 18. Concentração de clorofila A em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

Com relação ao pigmento clorofila *b*, sua concentração ao todo foi menor que a verificada na clorofila *a*, porém seu comportamento seguiu a mesma linha de tendência da anterior. Na menor lâmina foi registrada a maior concentração de clorofila *b* independente do genótipo, mas nas lâminas com déficit hídrico de 40, 60 e 80% da ETc

nota-se melhor desempenho da cultivar ‘BRS Marataoã’ com variações de 80, 55 e 54% em relação a ‘BRS Aracé’ quando as plantas passaram pela reidratação (Figura 19A, B e C). Quanto a lâmina máxima (100% da ETC), vê-se que os genótipos apresentaram pouca variação nos valores de clorofila, sendo constatado os menores resultados quando relacionar às demais lâminas (Figura 19D). Já quando as plantas foram reidratadas, percebe-se um pequeno acréscimo na concentração de clorofila *b* nas folhas dos genótipos de feijão nos quatro níveis de irrigação, sendo constatados melhores incrementos de 5,9; 6,3 e 5,3% nos genótipos ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’, respectivamente, ao reidratar as plantas com 100% da ETC (Figura 18D).

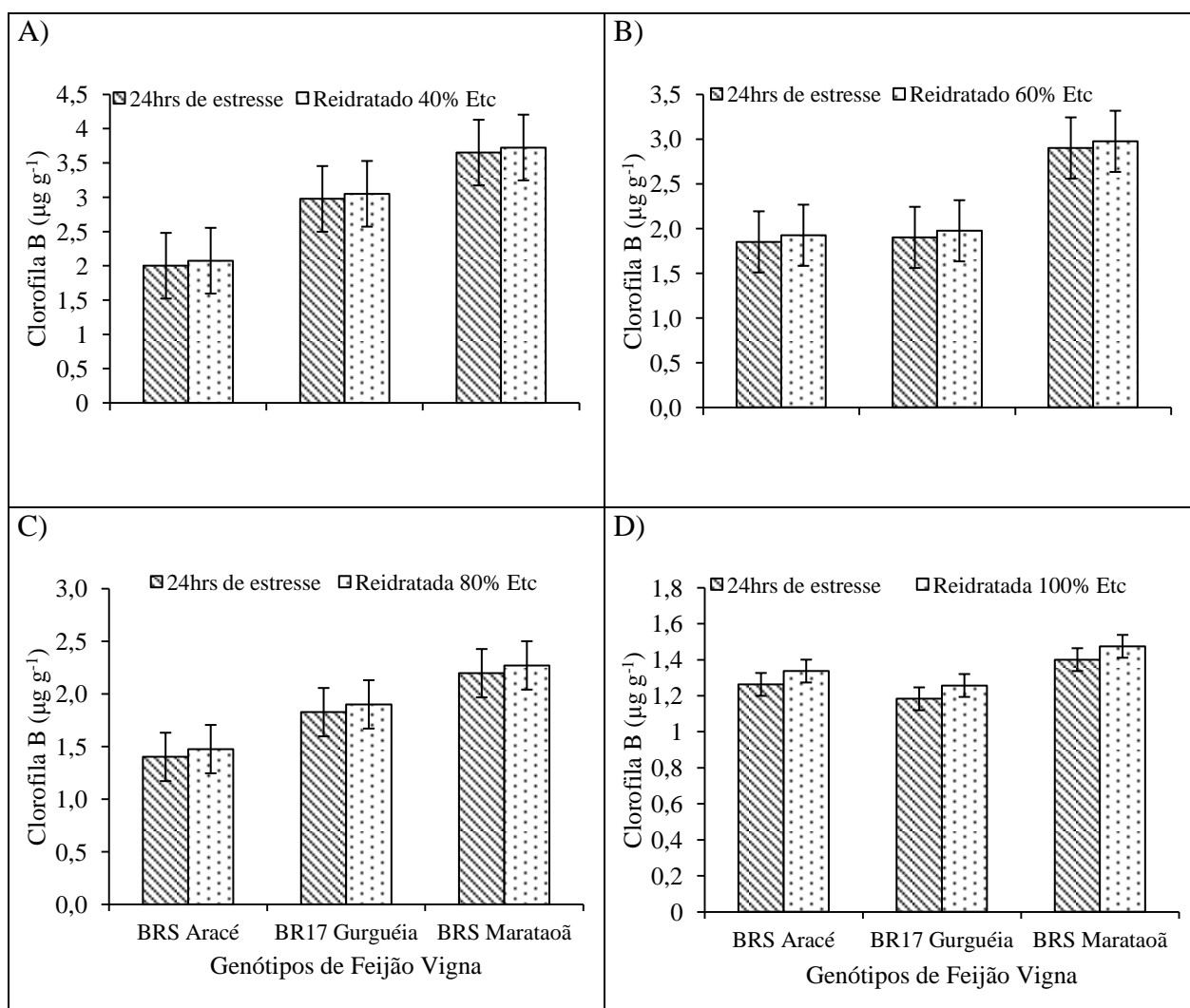


Figura 19. Concentração de clorofila B em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

Desempenho semelhante ao observado na clorofila *a* e *b*, foi verificado na concentração de carotenóides nas folhas dos genótipos de feijão *Vigna*. Os maiores teores desse pigmento acessório foram encontrados com a menor reposição hídrica, com

destaque para o genótipo ‘BRS Marataoã’ que obteve melhores valores de carotenóides chegando a ter variação de 100% entre os valores observados no genótipo de feijão ‘BRS Aracé’ (Figura 20A). Nota-se, ainda, que o aumento das lâminas de irrigação provocou redução nos teores de carotenóides em todos os genótipos estudados, evidenciando reduções de 70, 236 e 243% nos genótipos ‘BRS Aracé’, ‘BR17 Gurguéia’ e ‘BRS Marataoã’, respectivamente, quando relaciona as lâminas de 40 e 100% da ETc no estresse de 24 horas; já quando as plantas foram reidratadas essas reduções foram de 65, 216 e 226% (Figura 20D).

Liu et al. (2011) e Ghobadi et al. (2013) constataram resultados diferentes aos descritos, encontrando os autores diminuição no conteúdo de carotenóides quando as plantas estavam sob estresse hídrico. Ressalte-se que esse pigmento desempenha um papel importante na foto-proteção (MUNNE-BOSCH e PENUELAS, 2003), onde seu aumento sob condições de déficit hídrico na planta indica uma maior necessidade de foto-proteção por carotenóides (ELSHEERY e CAO, 2008).

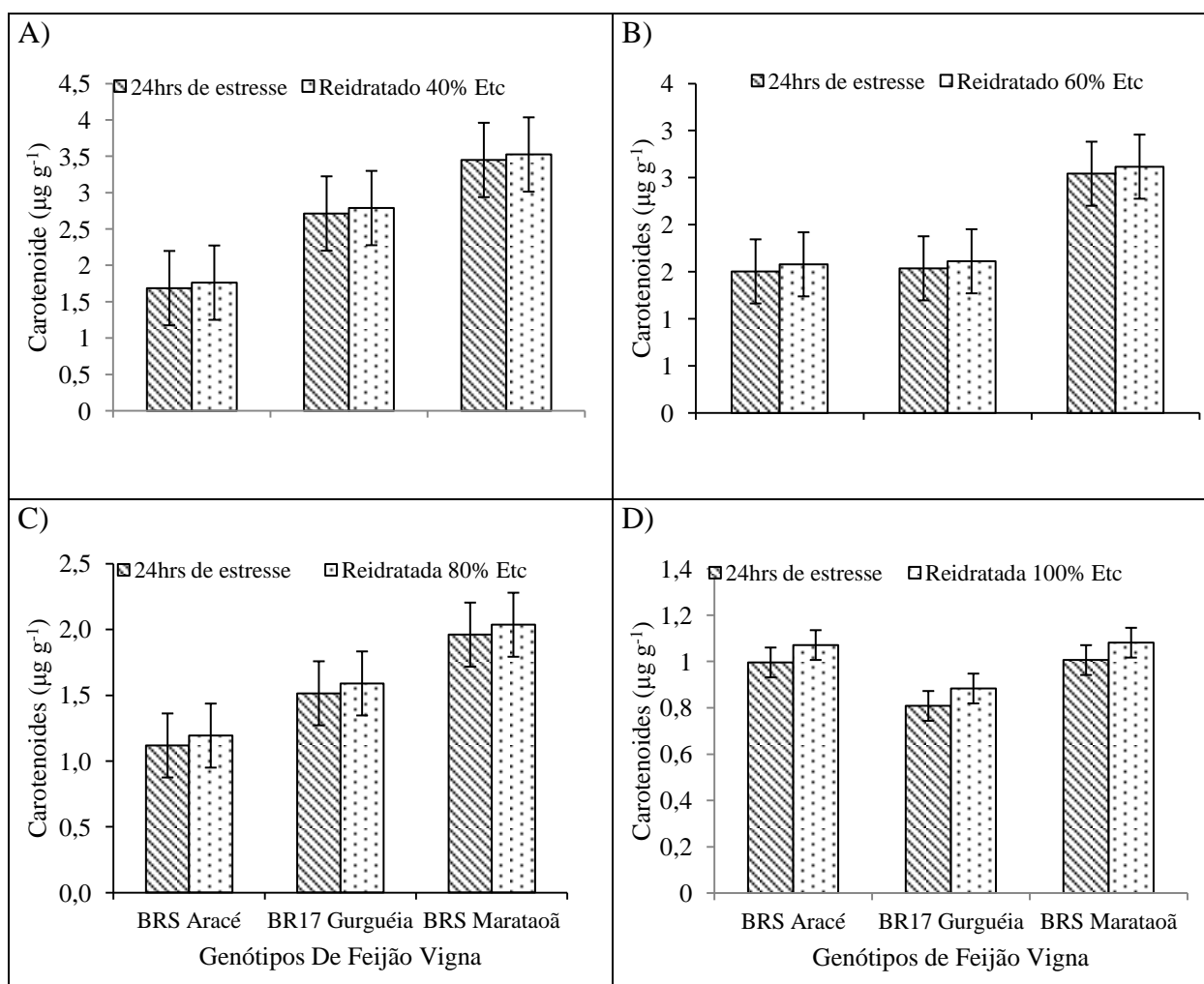


Figura 20. Concentração de carotenóides em folhas de genótipos de feijão *Vigna* sob estresse de 24 horas e reidratação com taxas de reposição da irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

5.4. Variáveis de Produção

Na tabela 9, são apresentados os resultados da análise de variância referentes ao comprimento de vagens verdes (CVV), massa de vagens verdes (MVV), número de grãos verdes (NGV) e massa de grãos verdes (MGV). Percebe-se que a aplicação das lâminas influenciou apenas o comprimento da vagem verde (CVV), mas, por outro lado, houve diferença entre os genótipos de feijão *Vigna* quanto às variáveis massa de vagens verdes (MVV), número de grãos verdes (NGV) e massa de grãos verdes (MGV). Os resultados em relação ao comprimento médio de vagens verdes divergiram dos valores de Ramos (2011), ao trabalhar com características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão *Vigna* para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos obtendo efeito significativo a 5% ($p < 0,05$).

Tabela 8. Resumos das análises de variância para o comprimento de vagens verdes (CVV), massa de vagens verdes (MVV), número de grãos verdes (NGV) e massa de grãos verdes (MGV) de genótipos de feijão *Vigna* sob lâminas de irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

| F.V. | G.L. | Quadrados Médios | | | |
|---------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | CVV | MVV | NGV | MGV |
| Bloco | 3 | 3,8022 ^{ns} | 1,7246 ^{ns} | 1,7011 ^{ns} | 0,7718 ^{ns} |
| Lâmina (La) | 3 | 6,3205* | 1,8876 ^{ns} | 2,6835 ^{ns} | 0,6718 ^{ns} |
| Genótipo (Ge) | 2 | 1,1161 ^{ns} | 27,6978* | 40,7279* | 4,9433* |
| Ge x La | 6 | 2,0065 ^{ns} | 1,5845 ^{ns} | 2,9493 ^{ns} | 0,1845 ^{ns} |
| Resíduo | 33 | 1,981 | 0,9675 | 1,7685 | 0,3125 |
| C.V. (%) | | 9,012 | 19,456 | 13,126 | 17,879 |

F.V. - Fontes de Variação; C.V. - Coeficiente de Variação; G.L. - Graus de Liberdade; *Significativo ($p < 0,05$); ^{ns} Não Significativo ($p > 0,05$).

O comprimento de vagens verdes (CVV) não foi diferenciado entre os genótipos estudados, mas observou-se comportamento linear crescente para as três cultivares analisadas, onde o menor comprimento (13,3 cm) foi obtido com aplicação de 40% da ETc e o maior (15,9 cm) com a taxa máxima de água no solo (100% da ETc), constatando-se incremento de 20% nessa lâmina (Figura 21A).

Observou-se para a variável massa de vagens verdes (MVV), no qual não apresentou efeito significativo para o fator lâminas e a interação entre os fatores (Gen x Lam), mas apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) para o fator genótipos, sendo a cultivar BRS Marataoã obteve-se os maiores valores médios apresentando diferença média de 41% em relação aos valores encontrados nas cultivares BRS Aracé e BR17 Gurguéia (4,26 e 4,23 g) respectivamente (Figura 21B). Esta redução na massa de vagens afeta diretamente na produtividade de grãos verdes e estar relacionada com a diminuição no teor de água no solo, o que implica em menores valores de potencial de água na folha, índice de área foliar e teor de clorofila total. Nesse sentido, a planta sofre redução da condutância e da transpiração foliar e, como consequência, há um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução nos componentes de produção e na produtividade final (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Para a variável número de grãos verdes (NGV), percebe-se efeitos significativos ($p < 0,05$) entre os genótipos, onde as plantas da cultivar BR17 Gurguéia apresentaram os maiores valores médios de grãos em cada vagem (11,5 grãos) estando com quatro grãos

a mais quando relacionado aos valores obtidos na cultivar BRS Aracé (7,5 grãos) (Figura 21C). Os resultados em relação a número de grãos verdes por vagem também divergiram dos valores de Ramos (2011), trabalhando com características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos. Os resultados também foram semelhantes aos obtidos por Mendes et al. (2007), trabalhando com as relações fonte-dreno em feijão-caupi para produção de grãos secos submetido à deficiência hídrica, onde constataram que o estresse hídrico aplicado tanto na fase vegetativa, como na reprodutiva havendo redução significativamente as características número de grãos por vagem.

Para massa de grãos verdes (MGV) observa-se que não houve efeito significativo para os fatores lâminas e interação entre os fatores. No entanto, entre os genótipos, nota-se, diferença significativa destacando-se os maiores ao genótipo BRS Marataoã (3,46 g vagem⁻¹) com diferença de 34% na MGV em relação aos valores (2,59 e 2,83 g vagem⁻¹) dos genótipos BRS Aracé e BR17 Gurguéia (Figura 21D). Em relação ao peso de grãos verdes da pesquisa em questão foram diferentes ao relatado por Ramos (2011), que observo diferenças não significativos, sendo que trabalhado com a variável massa de cem grãos verdes. Afirmando a hipótese de que esse componente de produção não é influenciado por estresse hídrico trabalhando com as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu. Por outro lado, os resultados encontrados foram semelhantes aos obtidos por Mendes et al. (2007) e Lima (2008).

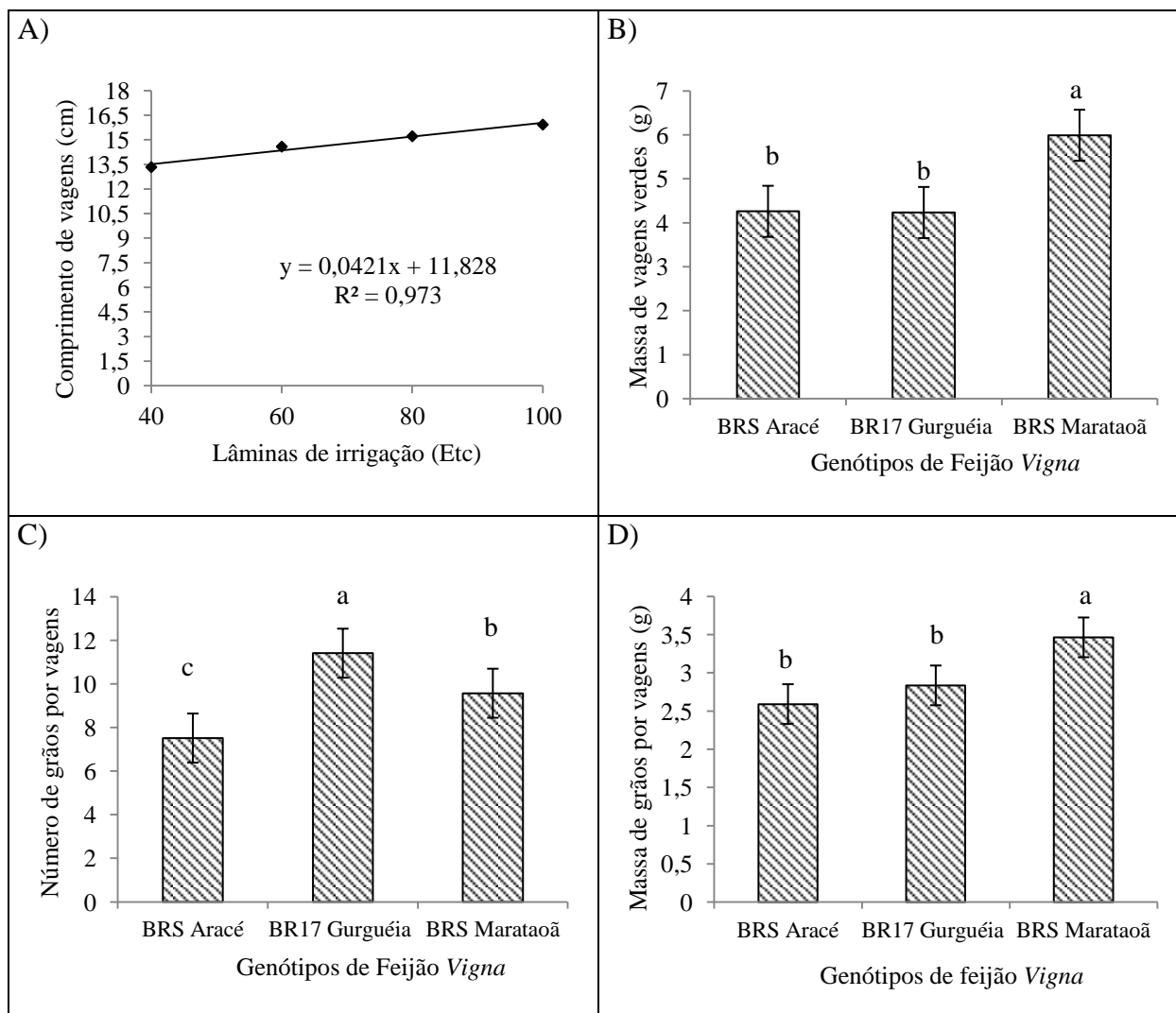


Figura 21. Comprimento de vagens verdes (A), massa de vagens verdes (B), número de grãos por vagem (C) e massa de grãos verdes (D) de genótipos de feijão *Vigna* sob lâminas de irrigação. Catolé do Rocha/PB, 2014.

5.5. Correlação de variáveis

Corroborando com os resultados encontrados nas discussões anteriores, observa-se para a produção do feijoeiro (MVV), maior correlação com as variáveis fisiológicas e bioquímicas, enquanto resultado do ajustamento fisiológico e bioquímico das plantas à variação na disponibilidade hídrica. Em relação à prolina, por exemplo, houve um acréscimo dos seus níveis em relação ao aumento da deficiência hídrica no solo. Conforme citado anteriormente a prolina atua como osmoprotetor, tendo por função, o ajuste osmótico de folhas com baixo potencial hídrico, estabilizando assim as membranas e impedindo a desidratação do citosol (KISHOR et al., 2005), com isso a prolina tem uma forte correlação positiva com a produção final (tabela 9).

Do mesmo modo, as variáveis de trocas gasosas refrataram uma alta correlação com a MVV, onde já foi destacado no contexto anterior que, devido à deficiência hídrica ocorre uma redução na produtividade, devido à diminuição da condutância estomática e aumento da resistência difusiva, mediante fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, em consequência, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese (OLIVEIRA et al., 2005; UMÑÓZ- EREA et al., 2006). A relação entre fotossíntese e a transpiração indica (EiUA), que relaciona a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde, denota que, a planta submetida ao estresse tem sua produção final visivelmente comprometida, o que a forte correlação positiva entre essas duas variáveis a produção, de maneira semelhante nos três genótipos de feijoeiro (JAIMEZ et al. 2005).

Já em relação às enzimas SOD, APX e CAT, nota-se variação em relação aos genótipos, onde na cultivar BRS Aracé não se observou correlação entre atividade das enzimas e a MVV. Nesse sentido, para a BR 17 Gurguéia houve correlação positiva da MVV com a SOD. Já para a BRS Marataoã houve correlação dos dados APX e SOD com MVV. Assim, a atividade da enzima APX, uma das principais na eliminação rápida (H₂O₂) agindo na prevenção de danos celulares oxidativos em plantas sob estresse (MITTLER, 2002; LOCATO et al., 2010), e a SOD, que é uma enzima essencial para todas as células aeróbicas, pois catalisa a dismutação do radical superóxido, formando H₂O₂ e O₂ (DIONISIO-SESE e TOBITA, 1998; FURIAN, 2007), tiveram correlação positiva com a MVV, indicando que o aumento da produção do feijoeiro foi precedido do aumento da atividade dessas enzimas quando houve diminuição da disponibilidade hídrica para as plantas.

Tabela 9. Matriz de correlação entre as variáveis estudadas. Catolé do Rocha/PB, 2014.

| BRS Aracé | | | | | | | | |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------|-----|
| | gs | Prolina | A | CAT | APX | SOD | EiUA | MVV |
| Prolina | -0,84** | - | - | - | - | - | - | - |
| A | 0,96** | -0,67** | - | - | - | - | - | - |
| CAT | -0,41 ^{ns} | -0,12 ^{ns} | -0,59 ^{ns} | - | - | - | - | - |
| APX | -0,43 ^{ns} | 0,07 ^{ns} | -0,63** | 0,46 ^{ns} | - | - | - | - |
| SOD | 0,05 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | 0,01 ^{ns} | -0,85** | - | - | - |
| EiUA | 0,97** | -0,82** | 0,96** | -0,33 ^{ns} | -0,59 ^{ns} | 0,27 ^{ns} | - | - |
| MVV | 0,99** | -0,79** | 0,98** | -0,43 ^{ns} | -0,55 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,99** | - |
| BR 17 Gurguéia | | | | | | | | |
| | gs | Prolina | A | CAT | APX | SOD | EiUA | MVV |
| Prolina | -0,90** | - | - | - | - | - | - | - |
| A | 0,97** | -0,91** | - | - | - | - | - | - |
| CAT | -0,57 ^{ns} | 0,22 ^{ns} | -0,40 ^{ns} | - | - | - | - | - |
| APX | -0,19 ^{ns} | -0,16 ^{ns} | -0,00 ^{ns} | 0,91** | - | - | - | - |
| SOD | 0,85** | -0,98** | 0,89** | -0,08 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | - | - | - |
| EiUA | 0,99** | -0,92** | 0,96** | -0,55 ^{ns} | -0,17 ^{ns} | 0,87** | - | - |
| MVV | 0,93** | -0,96** | 0,88** | -0,42 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | 0,92** | 0,95** | - |
| BRS Marataoã | | | | | | | | |
| | gs | Prolina | A | CAT | APX | SOD | EiUA | MVV |
| Prolina | -0,55 ^{ns} | - | - | - | - | - | - | - |
| A | 0,84** | -0,91** | - | - | - | - | - | - |
| CAT | -0,75** | -0,02 ^{ns} | -0,31 ^{ns} | - | - | - | - | - |
| APX | -0,85** | 0,24 ^{ns} | -0,53 ^{ns} | 0,95** | - | - | - | - |
| SOD | 0,26 ^{ns} | -0,94** | 0,74** | 0,28 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | - | - | - |
| EiUA | 0,57 ^{ns} | -0,98** | 0,93** | 0,04 ^{ns} | -0,21 ^{ns} | - | - | - |
| MVV | 0,82** | -0,91** | 0,97** | -0,38 ^{ns} | -0,62** | 0,75** | 0,89** | - |

^{ns} não significativo. ** significativo a 1%

6. CONCLUSÕES

A fixação de carbono no metabolismo fotossintético de plantas de feijão *Vigna*, como reflexo indicador da produção de massa seca é reduzida sob déficit hídrico acentuado.

A cultivar de feijão *Vigna* 'BRS Marataoã' possui mecanismo de osmoproteção, haja vista o aumento dos teores de prolina, glicina-betaína e trealose com o déficit hídrico, resultando em melhor recuperação dos tecidos após a reidratação.

As características bioquímicas dos genótipos de feijão *Vigna* 'BRS Aracé', 'BR17 Gurguéia' e 'BRS Marataoã' respondem, positivamente, a reposição da água no solo em relação às plantas sob estresse.

A 'BRS Aracé' possui baixa regulação antioxidativa, com menores atividades de CAT, APX e SOD em condições de deficiência hídrica e conseqüentemente menor recuperação dos tecidos celulares com a reidratação.

A 'BRS Marataoã' destaca-se quanto à produção com maiores valores para massa de vagem e massa de grãos, como reflexo dos resultados encontrados nos parâmetros fisiológicos e bioquímicos.

7. REFERÊNCIAS

- ABDUL JALEEL, C.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SANKAR, B.; GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Alterations in osmoregulations, antioxidante enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water defi cit. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v.59, p.150-157, 2007.
- ALMEIDA, A. M.; CARDOSO, L. A.; SANTOS, D. M.; TORNÉ, J. M.; FEVEREIRO, P. S. Trehalose and its applications in plant biotechnology. *In vitro cellular & developmental biology. Plant / Society for In Vitro Biology*, v. 43, p.167–177, 2007.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVAREZ, A. C. C.; ARF, O.; ALVAREZ, R. C. F.; PEREIRA, J. C. R. Resposta do feijoeiro à aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 27, n. 1, p. 69-75, 2005.
- AMARAL, J. A. T. do; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, v. 55, p. 373-399, 2004.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 206-216, 2007.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, p. 3-16, 2004.

BATES, L. S.; WALDERN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-07, 1973.

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Ciência Agrônômica**, v. 34, p. 5-10, 2003.

BEALE, S.I. Enzymes of chlorophyll biosynthesis. **Photosynth Review**, Washington, n. 60, p. 43-73, 1999.

BIDÓIA, M.A.P.; SANTOS, D.M.M.; MARIN, A.; LANDELL, M.G.A.; BANZATTO, D.A.; CAZETTA, J.O. Efeito da deficiência hídrica no acúmulo de prolina livre em cana-de-açúcar, em diferentes períodos de desenvolvimento. **Stab**, v.24, p.6-9, 2006.

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

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*, Rockville: **American Society of Plant Physiologists**, p. 1158-1203, 2000.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stress. IN: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. (Eds). *Biochemistry and molecular biology of plants*. 3rd. ed. Rockville: **American Society of Plant Physiologists**, p.1158-1203. 2001.

BREUSEGEM, F. V. et al. The role of active oxygen species in plant signal transduction. **Plant Science**, v. 161, p. 405-414. 2001.

BRITO, L.K.F.L. de; SILVEIRA, J.A.G.; LIMA, L.L.F. de; TIMÓTEO, A.R. de S.; CHAGAS, R.M.; MACEDO, C.E.C. de. Alterações no perfil de frações nitrogenadas em calos de cana-de-açúcar induzidas por déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.683-690, 2008.

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville: **American Society of Plant Physiologists**, 2000. 1367p.

CÂMARA, G. M. S. Como a planta de soja se desenvolve. **Arquivo do Agrônomo.Trad.** D. RICHIE, S. W.;HANWAY, J. J.;THOMPSON, H. E.;BENSON, G. O. n.11, p.121, 1997.

CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. de A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B. da; ROCHA, de M. R. Ciclo fenológico em *Vigna (Vigna unguiculata (L.) Walp.)*: uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**. v. 5, n. 2, p. 110-116, 2000.

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

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <www.conab.gov.br/download/safra/feijão.xls>. Acesso em: 7set. 2012.

DABROWSKA, G. et al. Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. **Acta Biologica Cracoviensia**, v. 49, n. 1, p. 7–17, 2007.

- DINAKARA, C.; DJILIANOV, D.; BARTELS, D. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: Energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, v. 182, p. 29-41, 2012.
- DIONISIO-SESE, M.L.; TOBITA, S. Antioxidant responses of Rice seedlings to salinity stress. **Plant Science**, Limerick, v. 135, p. 1-9, 1998.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Efectos del água en rendimiento de los cultivos. Roma: **FAO**, 1979. 212 p. (Boletim Riego y Drenaje, 33).
- DUBEY, R. S. Metal Toxicity, Oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S. D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfield: **Science Publishers**, cap. 9, p. 178-203, 2010.
- EFEÖĞLU, B.; EKMEKÇI, Y.; ÇIÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. **South African Journal of Botany**, v.75, p.34-42, 2009.
- EI-BASHITI, T.; HAMAMCI, H.; ÖKTEM, H.A.; YÜCEL, M. Biochemical analysis of trehalose and its metabolizing enzymes in wheat under abiotic stress conditions. **Plant Science**, v.169, p.47-54, 2005.
- ELSHEERY, N.; CAO, K. F. Gas exchange, chlorophyll fluorescence, and osmotic adjustment in two mango cultivars under drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 30, p. 769–777, 2008.
- FERNANDEZ-GARCIA, N.; GARMA, J. G.; OLMOS, E. ROS as biomarkers in hyperhydricity. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfield: **Science Publishers**, cap. 12, p. 249-274. 2010.
- FERRAZ, R. L. de S. et al. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 957-964, 2011.

FIGUEIREDO, M. G. et al. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 81-87, 2008.

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

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox Regulation in Photosynthetic Organisms: Signaling, Acclimation, and Practical Implications. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 11, n. 4, p. 861-905, 2009.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. dos. Melhoramento genético. In: Feijão Vigna: avanços tecnológicos. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília-DF, p.2992, 2005.

FURIAN, A. F. **Efeito do gangliosídeo GM1 sobre a atividade da catalase em estriado, hipocampo e córtex cerebral de ratos**. 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado – Bioquímica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GARG, A.K.; KIM, J.K.; OWENS, T.G.; RANWALA, A.P.; DO CHOI, Y.; KOCHIAN, L.V.; WU, R.J. Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.99, p.15898-15903, 2002.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutases: I- Occurrence in higher plants. *Physiologia Plantarum*, v. 59, p. 309-314, 1977.

GHOBADI, M.; TAHERABADI, S.; GHOBADI, M.-E.; MOHAMMADI, G.-R.; JALALI-HONARMAND, S. Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and waterrelations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in responseto drought stress. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 29-38, 2013.

GRIEVE, C.M.; GRATTAN, S.R. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. **Plant and Soil**, v. 70, p. 303-307, 1983.

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, p. 70-75, 2006.

HASEGAWA, P. M. et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, p. 463–499, 2000.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Physiologia Plantarum**, v. 84, p. 450-455, 1987.

HAYAKAWA, T.; KANEMATSU, S.; ASADA, K. Ocurrence of Cu, Zn- Superoxide dismutase in the intrathylakoid space of spinach-chloroplasts. **Planta and Cell Physiology**, v. 25, n. 6, p. 883-889, 1994.

HELDT, H. W.; HELDT, F. In the photorespiratory pathway phosphoglycolate formed by the oxygenase activity of Rubisco is recycled. In: **Plant Biochemistry**. 3rd edition. San Diego: Academic Press, cap. 7, p. 195-211. 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília, julho, 2008. Capturado em 12 set. 2012. Online. Disponível na Internet <http://www.ibge.gov.br/home/>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília, julho, 2013. Capturado em 9set. 2013. Online. Disponível na Internet <http://www.ibge.gov.br/home/>.

JAIMEZ, R.E. et al. A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plaitain cv. ‘Hartón’ (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.104, n.1, p.79-89, 2005.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Revista Bragantia**, v.64, n.3, p.339-347, 2005.

KISHOR, P.B.K.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R.N.; LAXMI, P.S.; NAIDU, K.R.; RAO, K.R.S.S.; RAO, S.; REDDY, K.J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v.88, p.424-438, 2005.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: **RIMA Artes e Textos**, 2006. 532p.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. Tradução: PRADO, C. H. B. A. e Franco. A.C. São Carlos, **Rima**, 2000. 533p.

LEÃO, D. A. S. **Estresse hídrico e adubação fosfatada no desenvolvimento inicial e na qualidade da forragem da gliricídia (*Gliricídia sepium* (Jacq.) Steud. e do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. 2006. 56 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2006.

LEMOS, L. B.; OLIVEIRA, R. S.; PALOMINO, E. C.; SILVA, T. R. B. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 319-326, 2004.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; JÚNIOR, A. B. A. Resposta do feijão Vigna a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**, v. 2, n. 2, p. 79–86, 2007.

LIU, C.; LIU, Y.; GUO, K.; FAN, D.; LI, G.; ZHENG, Y.; YU, L.; YANG, R. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, p. 174–183, 2011.

LOCATO, V. et al. Reactive oxygen species and ascorbate-glutathione interplay in signaling and stress responses. In: GUPTA, S.D. Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants. Enfield: **Science Publishers**, cap. 3, p. 45-64. 2010.

MALLICK, N., MOHN, F.N. Reactive oxygen species: response of algal cells. **Journal of Plant Physiology**, v. 157, n. 2, p. 183-193, 2000.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Levantamento de avaliação de safra 2010/2011. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao>. Acesso em : 12 dez. 2012.

MARIN, A. **Influência associada do estresse hídrico e do alumínio na germinação e crescimento inicial do guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)**. 2003. 87p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

MARIN, A.; SANTOS, D. M. M. dos. Interação da deficiência hídrica e da toxicidade do alumínio em guandu cultivado em hidroponia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p. 1267-1275, 2008.

MEDRANO, H. ESCALONA, J. M., BOTA, J., GULIAS, J., FLEXAS, J.: “Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: the interest of stomatal conductance as a reference parameter”, en **Annals of Botany**, vol.89, págs. 895-905, 2002.

MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; AGUIAR NETTO, A. O. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N.; PITOMBEIRA, J. B. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Ciência Agrônômica**, v. 38, p. 95-103, 2007.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant in Science**, v. 9, p. 405-410, 2002.

MOUSINHO, F. E. P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão - Vigna no Estado do Piauí**. 2005. Tese (Doutorado)– Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MUÑOZ-PEREA, C. G. et al. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. **Crop Science**, v. 46, p. 2111-2120, 2006.

MUNNE-BOSCH, S.; PENUELAS, J. Photo-and antioxidative protection during summer leaf senescence in *Pistacia lentiscus* L. grown under Mediterranean field conditions. **Annals Botany**, v. 92, p. 385–391, 2003.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiol**, v. 22, p. 867–880, 1981.

NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão Vigna Para identificação de genótipos com tolerância à seca**. Teresina-PI, 2009. 109p. Dissertação (Trabalho de pós-graduação em agronomia).

NASCIMENTO, S. P. N.; BASTOS, E. A.; ARAUJO, E. C. E.; FILHO, F. R. F.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão – caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.

NAYYAR, H. Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. **Environmental and Experimental Botany**, v. 50, p. 253-264, 2003.

NELSON C.J., MOSER, L.E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY JR., G.R. (Ed.) Forage quality, evaluation, and utilization. Madison, Wisconsin, USA: ASA/CSSA/SSSA. p.115-154, 1994.

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: Mecanismos fisiológicos e moleculares. **Revista Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, p. 12-18, 2001.

NEVES, O. S. C. et al. Efeito de diferentes doses de fósforo no crescimento e produção de material seca de mudas de andiroba (*Carapa guianensis*) cultivadas em solo de várzea. **Anais da FERTBIO 2002**. Rio de Janeiro: [s.n.] 2002. p. 88.

NG, N. Q. COWPEA (*Vigna unguiculata*). In: SMART, J.;SIMMONDS, S. (Ed.). **Evolution of crops plants.c2.ed**. London: Longman, p.326-332, 1995.

NÓBREGA, J. Q.;vRAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p.437-443, 2001.

NOCTOR, G. et al. Drought and oxidative load in the leaves of C3 plants: a predominant role for photorespiration? **Annals Botany**, v. 92, p. 808-814, 2002.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 86-95, 2005.

ONOFRE, A. V. C. **Diversidade genética e avaliação de genótipos de feijão *Vigna* contrastantes para resistência aos estresses bióticos e abióticos com marcadores SSR, DAF e ISSR**. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, 2008.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 161-169, 2005.

PATIST, A.; ZOERB, H. Preservation mechanisms of trehalose in food and biosystems. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 40, p. 107–113, 2005.

PAVANI, L. C.; LOPES, A. S.; PEREIRA, G. T. Desenvolvimento da cultura do feijoeiro submetida a dois sistemas de manejo de irrigação e de cultivo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 31, n. 3, p. 453-459, 2009.

PEIXOTO, P. H. P. et al. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, v. 25, n.4, p. 821-832, 2002.

PERL-TREVES, R.; PERL, A. Oxidative stress: an introduction. In: _____. *Oxidative Stress in Plants*, 2002.

PINTO, C. de M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**. 2006. 80f. Dissertação (Mestrado em agronomia\fitotecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

PORRA, R.J. **Recent progress in porphyrin and chlorophyll biosynthesis**. *Photochemistry and Photobiology C*, Singapura, n. 65, p. 492-516, 1997.

PRADO, C. H. B. A.; MORAES, J. A. P. V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. *Photosynthetica*, v. 33, p. 103-112, 1997.

QUEIROGA, J.L.; ROMANO, E.D.U.; SOUZA, J.R.P.; MIGLIORANZA, E. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.21,n.1, p.64-68, 2003.

QUEIROZ, R.J.B. **Quantificação da trealose e da prolina livre em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica do solo**. 2006. 61p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Raven P H, Evert R F, Eichhorn S E (1999). 5 ed. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro:

koogan, 1996. Reimpressão.

RIBEIRO, R. V.; SANTOS, M. G.; SOUZA, G. M.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA R. F.; ANGELOCCI, L. R.; PIMENTEL, C. Environmental effects on photosynthetic capacity of bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 615- 623, 2004.

SAKAMOTO, A.; MURATA, N. Genetic engineering of glycinebetaine synthesis in plants: current status and implications for enhancement of stress tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 81-88, 2000.

SANKAR, B. et al. Effect of paclobutrazol on water stress amelioration through antioxidants and free radical scavenging enzymes in *Arachis hypogaea* L. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. v. 60, n. 2, p. 229–235, 2007.

SANTOS, C. F.; LIMA, G. P. P.; MORGADO, L. B. **Tolerância e caracterização bioquímica em feijão-caupi submetido a estresse hídrico na pré-floração**. *Naturalia*, v. 33, p. 34-44, 2010.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. H. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro : **Embrapa Solos**, 2006.

SARAIVA, K. R. **Validação e aplicação prática do modelo “Isareg” no manejo da irrigação da cultura da melancia no perímetro irrigado Baixo Acaraú, Ceará**. 2010. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SCANDALIOS, J. G. Oxygen stress and superoxide dismutases. **Plant Physiology**, v. 101, n. 1, p. 7-12, 1993.

SEHMER, L.; DIZENGREMEL, P. Contribution to subcellular localization of superoxide dismutase isoforms of spruce needles and oak leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 53, n. 5, p. 545-551, 1998.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminium toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. **Journal of Plant Physiology**, v. 162, p. 854-862, 2005.

SHIMAZAKI, K.I. et al. **Light regulation of stomatal movement. Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.58, p.219-247, 2007.

SILVA, P. S. L.; OLIVEIRA, C. N. Rendimentos de feijão verde e maduro de cultivares de Vigna. **Horticultura Brasileira**, v. 11, n. 2, p. 133-135, 1993.

SILVA, C. D. S.; SANTS, P. A. A.; LIRA, J. M. S.; SANTANA, M. C.; JUNIOR, C. D. S. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 7-13, 2010.

SILVA, F. G.; Comportamento fisiológico da berinjela cultivada em ambiente protegido sob taxas de reposição hídrica. IN: **Trabalho de Conclusão de Curso** –Universidade Estadual da Paraíba (Licenciatura em Ciências Agrárias) Catolé do Rocha-PB, 2012, 48p

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIREFILHO, F. R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMO, M. (Eds) **Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production. International Institute of Tropical Agriculture**, p. 22-40, 2002.

SINGH, S. P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. **Crop Science**, v. 35, p. 118-124, 1995.

SINGH, S.K. y K.R. Reddy. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) under drought. **J. Photochem. Photobiol. B: Biol.** 105, 40-50, 2011.

SIRIPORNADULSIL, S. et al. Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. **Plant Cell**, v. 14, p. 2837–2847, 2002.

SZABADOS, L.; KOVÁCS, H.; ZIBERSTEIN, A.; BOUCHEREAU, A. Plants in extreme environments: importance of protective compounds in stress tolerance. **Advances in Botanical Research**, v. 57, 105–150, 2011.

TAMBUSSI, E. A.; BARTOLI, C. G.; BELTRANO, J.; GUIAMET, J. J.; ARAUS, J. L. Oxidative damage to thylakoid proteins in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum*). **Physiology Plant**. v. 108, p. 398–404, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. 690 p.

WALKER, D. **The use of the oxygen electrode and fluorescence probes in simple measurements of photosynthesis**. Chichester: Oxygraphics, 1987. 145p

WASSMANN, S.; WASSMANN, K; NICKERIN, G. **Modulation of oxidant and antioxidant enzyme expression and function in vascular cells**. *Hypertension*, v. 44, p. 381-386, 2004.

WYN JONES, R. G.; STOREY, R.; LEIGH, R. A.; AHMAD, N.; POLLARD, A.A hypothesis on cytoplasmic osmoregulation. In **"Regulation of Cell Membrane Activities in Plants"** (E Marre, O Cifferi eds), Elsevier, p. 121-136, 1977.

ZOZ, T.; STEINER, F.; GUIMARÃES, V. F.; CASTAGNARA, D. D.; MEINERZ, C. C.; FEY, R. Peroxidase activity as an indicator of water deficit tolerance in soybean cultivars. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1664-1671, 2013.