



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM



MIRANDY DOS SANTOS DIAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ECOFISIOLOGIA DO ALGODOEIRO SOB ESTRESSE HÍDRICO VARIANDO A
FASE FENOLÓGICA E A SUPLEMENTAÇÃO DE PIRUVATO**

Campina Grande, PB

2020

MIRANDY DOS SANTOS DIAS

Engenheiro agrônomo

**ECOFISIOLOGIA DO ALGODOEIRO SOB ESTRESSE HÍDRICO VARIANDO A
FASE FENOLÓGICA E A SUPLEMENTAÇÃO DE PIRUVATO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadores: Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes.

Dra. Roseane Cavalcanti dos Santos.

Campina Grande, PB

2020

FICA CATALOGRÁFICA

D541e Dias, Mirandy dos Santos.
Ecofisiologia do algodoeiro sob estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato / Mirandy dos Santos Dias. – Campina Grande, 2021.
71 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes, Profa. Dra. Roseane Cavalcanti dos Santos".

Referências.

1. Algodão (*Gossypium hirsutum* L.) – Cultura. 2. Ácido Pirúvico. 3. Déficit Hídrico – Algodão. 4. Irrigação e Drenagem I. Fernandes, Pedro Dantas. II. Santos, Roseane Cavalcanti dos. III. Título.

CDU 633.51(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CRB-15/225



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

MIRANDY DOS SANTOS DIAS

APROVADO (A): 03 de março de 2020

BANCA EXAMINADORA

Dr. Pedro Dantas Fernandes
Orientador – UAEA/CTRN/UFPA

Dra. Roseane Cavalcanti dos Santos
Orientadora - Embrapa (Algodão)

Dra. Ligia Sampaio Reis
Examinadora – CECA/UFPA

Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima
Examinadora – UAEA/CTRN/UFPA

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida. Aos meus pais, Jorge João Souza Dias e Valdeci de Jesus dos Santos Dias pela dedicação, incentivo, carinho e atenção que nunca me faltaram.

Aos meus irmãos, pelo apoio e incentivo incondicional durante toda a minha vida acadêmica, principalmente, nas etapas mais difíceis do caminho.

Aos meus cunhados, Carlos Alexandre e José Pereira, por todo apoio e incentivo, aconselhando-me a nunca desistir de meus objetivos.

DEDICO!

A minha noiva, Mirele Ferreira a quem esteve sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis, aconselhando-me a nunca desistir de meus objetivos.

A minha madrinha, Elisangela e aos meus primos, Maria, Renilda e Binho pelo incentivo e apoio constante.

OFEREÇO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por estar sempre em meu caminho, iluminando e guiando nas escolhas certas.

Aos meus pais, Jorge João Souza Dias e Valdeci de Jesus Santos Dias que são à base de tudo, apoiando-me nos momentos difíceis com força, confiança, amor, ensinando-me a persistir nos meus objetivos e ajudando a alcançá-los.

Agradeço de coração, aos meus orientadores Profa. Dra. Roseane Cavalcanti dos Santos e ao Prof. Dr. Pedro Dantas Fernandes, pela confiança, por ter me cedido parte de seu tempo e apoio necessário para a realização deste trabalho ... Um exemplo de dedicação e empenho ao ensino e à pesquisa que levarei por toda minha carreira. O aprendizado durante esse tempo de convivência foi repleto de momentos de crescimento.

Aos Professores do Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, por todos os ensinamentos e amizade.

Meus agradecimentos a Aline Dayanne, Daniela Duarte, Rômulo Carantino, Luderlânio Silva, Andrezza Maia e, em especial, Francisco de Assis pela grande ajuda na execução deste projeto, assim como pela amizade construída ao longo da pós-graduação.

A banca examinadora, professora Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima e Dra. Ligia Sampaio Reis pela disponibilidade em contribuir para a melhoria deste trabalho. Foi uma honra e orgulho ter sido aluno de duas profissionais extremamente competentes em suas atribuições.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade na realização do Mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de mestrado, e

A EMBRAPA – ALGODÃO, pelo acolhimento e apoio durante o período de formação e realização da pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes”.

(MARTHIN LUTHER KING)

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1	Atributos químicos e físicos do solo, determinadas no laboratório de irrigação e salinidade (LIS), Campina Grande, PB, 2019	26
Tabela 2	Resumo da análise de variância para as variáveis porcentagem de emergência (PE), índice de velocidade (IVE), tempo médio (TME), velocidade média (VME) e frequência média de emergência (FME) de plântulas de algodoeiro colorido “BRS Jade”, sob diferentes formas de pré-embebição	32
Tabela 3	Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), número de folhas (NF), massa seca de folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato variando as fases fenológicas, aos 25, 75 e 120 DAS	38
Tabela 4	Teste de Dunnett para altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato, aos 25 DAS	40
Tabela 5	Teste de Dunnett para altura de planta (AP) e diâmetro do caule (DC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato variando as fases fenológicas, aos 75 DAS	42
Tabela 6	Teste de Dunnett para altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato variando a fase fenológica, aos 120 DAS	47
Tabela 7	Resumo das análises de variância para taxa de assimilação de CO ₂ (A), concentração interna de CO ₂ (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs) e eficiência instantânea da carboxilação (EiC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato, aos 25 e 26 DAS	48
Tabela 8	Teste de Dunnett para condutância estomática (gs), transpiração (E), taxa de assimilação de CO ₂ (A), concentração interna de CO ₂ (Ci) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, cultivadas sob estresse hídrico e suplementação de piruvato, aos 25 e 26 DAS	50
Tabela 9	Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), transpiração (E), taxa de assimilação de CO ₂ (A), concentração interna de CO ₂ (Ci) e eficiência instantânea da carboxilação (EiC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato, aos 55 e 56 DAS	52

Tabela 10	Teste de Dunnett para condutância estomática (<i>g_s</i>), transpiração (<i>E</i>), taxa de assimilação de CO ₂ (<i>A</i>), concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) e eficiência instantânea de carboxilação (<i>E_iC</i>) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, cultivadas sob estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato, aos 55 e 56 DAS	58
Tabela 11	Resumo da análise de variância para as variáveis número de capulhos (NC), massa de capulho completo (MCC), massa de um capulho (M1CAP), massa de pluma com sementes (MPCS) e eficiência do uso da água (EUA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, cultivadas sob estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato...	59
Tabela 12	Teste de Dunnett para número de capulhos (NC), massa de capulho completo (MCC), massa de pluma com sementes (MPCS), massa de um capulho (M1CAP) e eficiência do uso da água (EUA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, cultivadas sob estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato	62

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1	Estádios vegetativos do algodoeiro, de acordo com a escala fenológica elaborada por Marur e Ruano (2001)	19
Figura 2	Fase formação de botões florais, de acordo com a escala fenológica elaborada por Marur e Ruano (2001)	20
Figura 3	Fase de abertura de flores, de acordo com a escala fenológica elaborada por Marur e Ruano (2001)	20
Figura 4	Plantas de algodão em estádios com capulhos, de acordo com escala fenológica elaborada por Marur e Ruano (2001)	21
Figura 5	Aplicação da solução de piruvato de cálcio via foliar, em plantas de algodão nas fases fenológicas da cultura, sob irrigação plena (A) e déficit hídrico (B), cultivadas em casa de vegetação	27
Figura 6	Temperatura (T) (°C), umidade relativa máxima (UR Max) (%) e mínima (UR Min) (%), observadas durante o período de condução do experimento.	28
Figura 7	Índice de velocidade (IVE), tempo médio (TME), velocidade (VME) e frequência média de emergência (FME) de plântulas do algodoeiro colorido “BRS Jade”, sob diferentes formas de pré-embebição	33
Figura 8	Curva de retenção de água do solo ajustada de acordo com o modelo de Van Genuchten para os tratamentos na fase vegetativa (A) e no florescimento (B)	34
Figura 9	Visão geral das plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato..	36
Figura 10	Altura de plantas (A), número de folhas (B), área foliar (C) e diâmetro do caule (DC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, sob disponibilidade hídrica, aos 25 dias após a semeadura (DAS)	39
Figura 11	(A) altura de plantas (AP) do algodoeiro colorido “BRS Jade”, correspondente à interação PE x DH. Em 11B: diâmetro do caule (DC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, correspondente à interação DH x F aos 75 dias após a semeadura (DAS)	41
Figura 12	Disponibilidade hídrica para altura de plantas (AP) (A), número de folhas (NF) (B) e diâmetro de caule (DC) (D) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, aos 120 dias após a semeadura (DAS). (C) número de folhas de algodoeiro, sob aplicação de piruvato nas fases fenológicas. (E) diâmetro do caule na interação PE x F	43
Figura 13	Desdobramento da interação DH x F para massa seca das folhas (MSF) e massa seca da parte aérea (MSPA) (A e C). Em 13B: massa seca de caule	

	(MSC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, sob disponibilidade hídrica	45
Figura 14	(A) condutância estomática (<i>g_s</i>), (C) taxa de assimilação de CO ₂ (<i>A</i>) e (D) eficiência instantânea de carboxilação (<i>EiC</i>) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, sob disponibilidade hídrica. Em 14B: desdobramento da interação PE x DH para a transpiração de plantas de algodoeiro, aos 25 DAS	49
Figura 15	Desdobramento da interação DH x F para condutância estomática (<i>g_s</i>) (A), transpiração (<i>E</i>) (C) e taxa de assimilação de CO ₂ (<i>A</i>) (E). Em 15B e D: desdobramento da interação PE x DH para transpiração e taxa de assimilação de CO ₂ de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, aos 55 DAS	53
Figura 16	Concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) (A) e eficiência instantânea de carboxilação (<i>EiC</i>) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, correspondente a interação PE x DH x F, aos 55 DAS	54
Figura 17	Desdobramento da interação PE x DH (A), PE x F (B) e DH x F (C) para taxa de assimilação de CO ₂ (<i>A</i>) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, aos 56 DAS	55
Figura 18	Condutância estomática (<i>g_s</i>) (A), transpiração (<i>E</i>) (B), concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) (C) e eficiência instantânea de carboxilação (<i>EiC</i>) (D) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, correspondente a interação PE x DH x F aos 56 DAS	56
Figura 19	Desdobramento da interação DH x F para número de capulhos (NC) (A), massa de capulho completo (MCC) (B) e massa de pluma com sementes (MPCS) (C). (D) massa de um capulho (MICAP) do algodoeiro colorido “BRS Jade”, sob disponibilidade hídrica. Em 19E: eficiência do uso da água (EUA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, correspondente a interação PE x DH x F aos 120 DAS	60

SUMÁRIO

RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Geral	17
2.2 Específicos.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Aspectos gerais do algodoeiro	18
3.2 Algodão naturalmente colorido	21
3.3 Pré - embebição de sementes.....	22
3.4 Déficit hídrico no algodoeiro.....	22
3.5 Piruvato na fisiologia das plantas	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Localização do experimento	25
4.2 Fatores de estudo, tratamentos e delineamento estatístico	25
4.3 Condução do experimento e material genético.....	25
4.4 Aplicação dos tratamentos.....	26
4.5 Manejo da Irrigação.....	27
4.6 Manejo da adubação	28
4.7 Tratos culturais	28
4.8 Variáveis e parâmetros analisados.....	29
4.8.1 Variáveis de emergência.....	29
4.8.2 Variáveis de crescimento.....	30
4.8.3 Parâmetros fisiológicos.....	30
4.8.4 Variáveis de produção, acúmulo de massa e eficiência do uso da água.....	31
4.9 Análise estatística	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Emergência	32
5.2 Umidade do solo.....	33
5.3 Crescimento e acúmulo de massa.....	36
5.3.1 Crescimento de plantas de algodoeiro aos 25 DAS.....	39
5.3.2 Crescimento de plantas do algodoeiro aos 75 DAS	40

5.3.3. Crescimento e acúmulo de massa de plantas de algodoeiro aos 120 DAS	42
5.4 Fisiologia	47
5.4.1 Trocas gasosas aos 25 e 26 DAS	47
5.4.2 Trocas gasosas aos 55 e 56 DAS	50
5.5 Componentes de produção e eficiência do uso da água	58
6 CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

RESUMO

O algodão é uma das principais culturas exploradas, comercialmente, na região semiárida brasileira, movimentando diversos setores da economia, com geração de emprego e renda. Na cotonicultura de sequeiro, a produção, em geral, é baixa, devido a fatores climáticos, decorrentes da baixa e irregular distribuição das chuvas, o que realça a importância de estudos visando a minorar os efeitos da seca em seu cultivo. Neste trabalho, objetivou-se avaliar a ecofisiologia e a tolerância ao estresse hídrico do algodoeiro naturalmente colorido, cv. BRS Jade, na germinação e variando a fase fenológica, com suplementação de piruvato. O experimento foi desenvolvido em ambiente protegido, pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. Foram estudadas duas formas de pré-embebição de sementes (água destilada e em solução de piruvato de cálcio), duas disponibilidades hídricas (déficit hídrico e irrigado) e aplicação de piruvato de cálcio em três fases fenológicas (vegetativo, florescimento e vegetativo mais florescimento), mais um controle absoluto (sem pré-embebição, irrigação plena e sem aplicação de piruvato) em delineamento experimental de blocos casualizados, esquema fatorial $2 \times 2 \times 3 + 1$. Combinados, os fatores resultaram em 13 tratamentos, com três repetições e duas plantas por parcela, totalizando 39 unidades experimentais. Foram avaliados a emergência, crescimento, fisiologia e componentes de produção. Constatou-se que não houve diferença entre as formas de embebição e que o estresse hídrico nas fases florescimento e vegetativa mais florescimento reduziram as trocas gasosas das plantas de algodão. No entanto, o suprimento exógeno de piruvato, a partir do piruvato de cálcio, na concentração de 100 mM, atenuou os efeitos do déficit hídrico na fase vegetativa, notadamente nas variáveis de crescimento, acúmulo de massa e produção, aumentando a massa de capulho completo, massa de pluma com semente e número de capulho do algodoeiro cv. BRS Jade. A suplementação de piruvato de cálcio também refletiu na melhor eficiência do uso da água ($1,32 \text{ g L}^{-1}$) em plantas de algodão, podendo dessa forma, ser indicada ao produtor.

Palavras chaves: *Gossypium hirsutum* L.; ácido pirúvico; déficit hídrico.

ABSTRACT

Cotton is one of the main crops explored, commercially in the semi-arid region of Brazil, moving several sectors of the economy, generating employment and income. In rainfed cotton farming, production, in general, is low, due to climatic factors, resulting from the low and irregular distribution of rainfall, which highlights the importance of studies aimed at minimizing the effects of drought on its cultivation. This work aimed to evaluate the ecophysiology and water stress tolerance of naturally colored cotton, cv. BRS Jade, in germination and varying the phenological phase, with pyruvate supplementation. The experiment was carried out in a protected environment, belonging to the Agricultural Engineering Academic Unit of the Federal University of Campina Grande. Two forms of seed pre-soaking were studied (distilled water and calcium pyruvate solution), two hydric availability (water deficit and irrigated) and application of calcium pyruvate in three phenological phases (vegetative, flowering and vegetative plus flowering), plus an absolute control (without pre-imbibition, full irrigation and without application of pyruvate) in a randomized block experimental design, 2 x 2 x 3 + 1 factorial scheme. Combined, the factors resulted in 13 treatments, with three replications and two plants per plot, totaling 39 experimental units. Emergence, growth, physiology and production components were evaluated. It was found that there was no difference between the forms of imbibition and that water stress in the flowering and vegetative plus flowering phases reduced the gas exchange of cotton plants. However, the exogenous supply of pyruvate, from calcium pyruvate, at a concentration of 100 mM, attenuated the effects of water deficit in the vegetative phase, notably in the variables of growth, mass accumulation and production, increasing the mass of full boll, mass of lint with seed and boll number of cotton cv. BRS Jade. Calcium pyruvate supplementation also reflected in better water use efficiency (1.32 g L^{-1}) in cotton plants, thus being indicated to the producer.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L.; pyruvic acid; water deficit

1 INTRODUÇÃO

A cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é importante, socioeconomicamente, por envolver a agricultura familiar e movimentar setores diversos da economia, como a agroindústria e indústria têxtil, situando-se entre as culturas mais importantes do mundo (ZONTA et al., 2016; VASCONCELOS et al., 2018; ALVES et al., 2019).

Todos os anos, são plantadas em todo o planeta uma média de 35 milhões de hectares, o que envolve mais de 350 milhões de pessoas na cadeia produtiva, movimentando anualmente, cerca de US\$ 12 bilhões (ABRAPA, 2019). Nesse contexto, o Brasil se destaca como um dos principais produtores, exportadores de fibra e um dos maiores consumidores de algodão em pluma, garantido assim, lugar privilegiado no cenário internacional. Está entre os cinco maiores produtores mundiais, ao lado de China, Índia, Estados Unidos e Paquistão (ABRAPA, 2019).

Na safra de 2018/2019, por exemplo, o Brasil produziu 6,81 milhões de toneladas de algodão herbáceo em caroço, em 1,62 milhões de hectares plantada. A região Nordeste, segunda maior produtora do país, com 22,5% da área plantada, produziu 1,72 milhões de toneladas, contribuindo com 24,9% da produção nacional de algodão em caroço. Em particular, no Estado da Paraíba, foram cultivados 700 hectares, com produtividade média de 943 kg ha⁻¹, propiciando um volume final de 700 toneladas de algodão em caroço (CONAB, 2019). Ou seja, a produção ainda é baixa, decorrente de fatores diversos, com destaque para a baixa pluviosidade, que acontece de forma irregular, provocando assim, o déficit hídrico.

As plantas, em tais condições, sofrem alterações em todos os níveis de organização celular. Na fisiologia, por exemplo, induz a planta ao acúmulo de ácido abscísico (ABA), envolvido no fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese e a maioria dos processos de trocas gasosas. Como consequências, ocorre ainda, redução da divisão e expansão celular, da formação e do crescimento de estruturas como folhas e caule, alterações bioquímicas nas plantas, além de interferir no potencial hídrico e de induzir a senescência acelerada e abscisão das folhas (JIMÉNEZ et al., 2013; FERRARI et al., 2015; TAIZ et al., 2017).

Na maioria dos estudos com algodoeiro, têm sido pesquisados efeitos da deficiência de água no solo, com registros de serem afetados o crescimento, a produtividade e a qualidade das fibras de algodão (SNOWDEN et al., 2013; ZONTA et al., 2017; CORDÃO et al., 2018; LIMA et al., 2018). Todavia, há carência de estudos com substâncias orgânicas, com investigação sobre seus efeitos no metabolismo das plantas sob condições de estresse hídrico.

O piruvato, como exemplo, é um elemento crucial no metabolismo do Ciclo de Krebs, que tem um papel vital na conversão da glicose em energia, ou seja, neste processo a glicose

(molécula com 6 carbonos) é quebrada em duas moléculas de ácido pirúvico (3 carbonos) que, no Ciclo de Krebs se transformam em energia (ATP) (RAVEN et al., 2014; TAIZ et al., 2017).

Esse trabalho parte da hipótese que a aplicação exógena de piruvato reforçará os mecanismos energéticos do algodoeiro, que não precisará ativar os processos envolvidos na glicólise, por estarem disponíveis moléculas de piruvato, reforçando o substrato para a produção de ATP. Com maior disponibilidade de energia, a planta poderá ativar mecanismos bioquímicos e moleculares para se adaptar melhor à seca, favorecendo assim, uma maior produção.

Na literatura são encontrados alguns trabalhos com embebição e aplicação exógena de cloreto de mepiquat, silício e ácido salicílico em diversas oleaginosas, entre elas o algodão, no qual constatou-se o efeito benéfico no desenvolvimento das plantas (NAGASHIMA et al., 2005; NAGASHIMA et al., 2007; FARIAS, 2012; SILVA et al., 2017). Entretanto, em relação ao piruvato foi identificado apenas um trabalho com *Arabidopsis thaliana*, em que folhas foram incubadas por um período de 2,5 h em piruvato nas concentrações de 10, 100 e 1000 μM e foi verificado que na concentração de 100 μM , o piruvato aumentou o tamanho da corrente aniônica nas células guarda (SHEN et al., 2017).

Portanto, estudos sobre mecanismos fisiológicos e estratégias de mitigação dos efeitos do déficit hídrico no cultivo do algodoeiro, tornam-se relevantes, gerando conhecimento e viabilizando a exploração de forma econômica. A aplicação do piruvato como atenuante do déficit hídrico pode ser um avanço na agricultura, especialmente, para as regiões semiáridas.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a ecofisiologia e a tolerância ao estresse hídrico do algodoeiro naturalmente colorido, cv. BRS Jade, na germinação e variando a fase fenológica, com suplementação de piruvato.

2.2 Específicos

- Analisar o efeito da suplementação do piruvato na pré-embebição de sementes do algodoeiro e nos aspectos de ecofisiologia das plantas até a produção.
- Avaliar parâmetros de crescimento e fisiológicos das plantas, submetidas ao estresse hídrico, variando a fase fenológica, com identificação do estágio de desenvolvimento de maior sensibilidade e tolerância à falta de água.
- Quantificar a produção das plantas nos tratamentos de estresse hídrico, variando a fase fenológica, com aplicação de piruvato.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos gerais do algodoeiro

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma espécie dicotiledônea de ciclo anual ou perene, porte herbáceo, arbustivo ou arbóreo pertencente à família *Malvaceae* e gênero *Gossypium*, de origem tropical, entre o México e a América Central. O gênero inclui 49 espécies conhecidas, mas esse número pode estar subestimado, devido à falta de informações, principalmente, das espécies dos continentes Africano e Asiático (ECHER et al., 2014). Dentre elas, quatro se destacam em razão das características de importância econômica, sendo *G. hirsutum*, *G. barbadense*, *G. herbaceum* e *G. arboreum* as mais cultivadas no mundo (GADELHA et al., 2014). O algodoeiro tem metabolismo fotossintético do tipo C3, com elevada taxa de fotorrespiração e complexidade morfológica e fisiológica (BELTRÃO, 2006).

As plantas de *G. hirsutum* têm hábito de crescimento indeterminado, com altura variando entre 60 e 100 cm, caule pouco ramificado, ramos vegetativos e frutíferos, flores completas, folhas sem bainha, com duas estípulas e brácteas que protegem à estrutura de reprodução (LAWS, 2013; BORÉM e FREIRE, 2014).

A espécie *G. hirsutum* é uma planta com folhas largas tri ou pentalobadas, caule ascendente e raiz pivotante que pode se aprofundar a 2,50 m. As flores são hermafroditas, com pétalas creme ou amareladas que, quando expostas à radiação solar, os fitocromos reagem e as pétalas se tornam violáceas (BORÉM e FREIRE, 2014). O fruto é denominado de maçã, com em média, três a cinco lóculos e 11 sementes por lóculo. Quando o fruto se abre, as fibras ficam expostas, sendo denominado de capulho; são fibras longas para a espécie, com presença de línter no tegumento das sementes (BORÉM e FREIRE, 2014).

Por toda a planta são encontradas glândulas de gossipol, substância tóxica para outros seres vivos, protegendo-a de herbivoria (BORÉM e FREIRE, 2014). Na ausência de polinizadores, ocorre autofecundação das flores, mas, havendo insetos polinizadores na área, a polinização cruzada pode atingir altos valores, acima de 50%, tornando assim, o sistema reprodutivo do algodoeiro como intermediário, entre autogamia e alogamia (BORÉM e MIRANDA, 2013).

O caule principal e os ramos vegetativos crescem retos e eretos, predominando o meristema apical do principal. A planta tem dois tipos de ramificações, denominadas de ramos reprodutivos ou simpodiais e vegetativos monopodiais. Os ramos reprodutivos tem meristemas, um por ramo, que caracterizam o crescimento em “espiral” da parte basal para a parte apical das plantas. O crescimento inicial do ramo reprodutivo é paralisado ao se formar a primeira

estrutura reprodutiva, sendo em seguida, retomado ao surgir um novo meristema para a formação de uma nova estrutura floral, podendo se repetir, em sequência (BORÉM e FREIRE, 2014; RITCHIE et al., 2007). O ciclo pode oscilar de acordo com as condições ambientais, variando entre 160 a 180 dias (PENNA, 1982).

Marur e Ruano (2001), definiram um sistema de identificação de estádios de desenvolvimento do algodoeiro, dividido em 4 fases: fase vegetativa, fase formação de botões florais, fase de abertura de flores e fase de abertura dos capulhos.

O estágio V0 se caracteriza pelo início do período vegetativo, que vai da emergência até a primeira folha verdadeira; o V1 até o surgimento da segunda folha verdadeira. Os demais estádios estão representados na Figura 1.

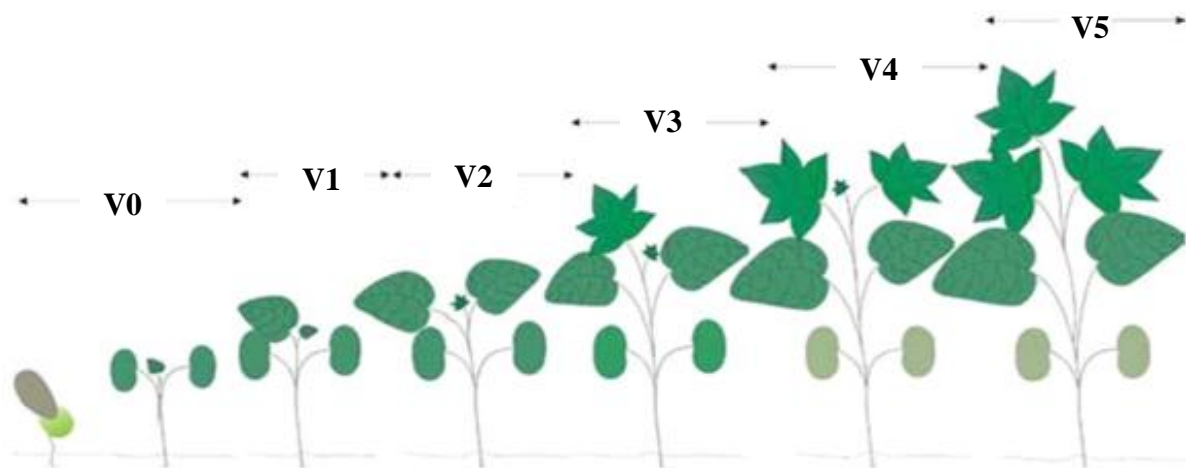


Figura 1. Estádios vegetativos do algodoeiro, de acordo com a escala fenológica elaborada por Marur e Ruano (2001).

A fase reprodutiva vai desde B1 a B7, iniciada com o surgimento do primeiro botão floral, até a formação do capulho (Figura 2). Quando o primeiro botão floral do terceiro ramo reprodutivo estiver visível, a planta estará no estágio B3. Nessa época, o segundo botão do primeiro ramo também se torna visível. Sucessivamente, à medida que o primeiro botão floral de um novo ramo frutífero estiver visível, o estágio passará a ser Bn.

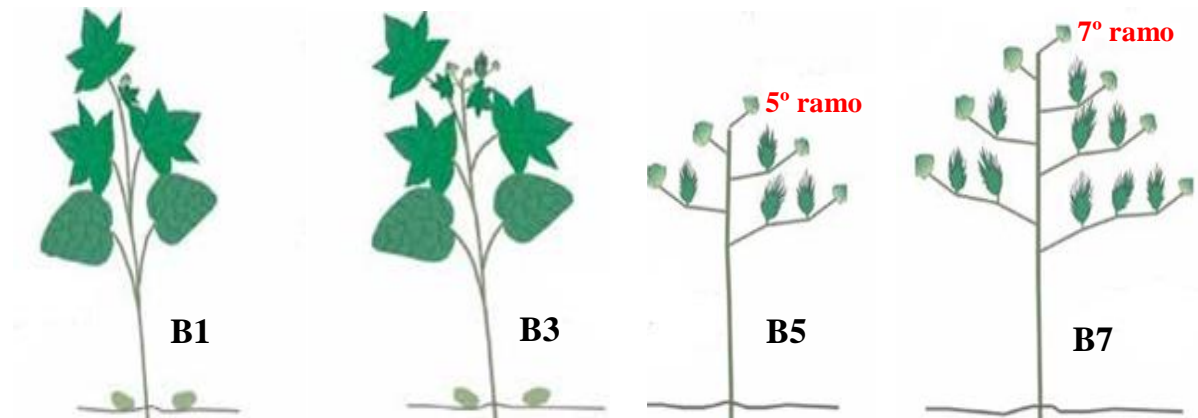


Figura 2. Fase formação de botões florais, de acordo com a escala fenológica elaborada por Marur e Ruano (2001).

No entanto, a indicação B não será mais utilizada, quando o primeiro botão floral do primeiro ramo frutífero se transformar em flor, o estágio de desenvolvimento passará a ser F1. O estágio de desenvolvimento será F3 na abertura da primeira flor do terceiro ramo frutífero. Nota-se também nessa fase, a abertura da flor na segunda estrutura do primeiro ramo frutífero. Sucessivamente, à medida que ocorrer a abertura da primeira flor do ramo frutífero de número ‘n’, o estágio passará a ser Fn.

É interessante notar que, o estágio pode ser determinado mesmo com a ocorrência de queda de estruturas, tomando-se outras estruturas como referência. Assim, se a primeira estrutura de um determinado ramo foi perdida, toma-se a segunda estrutura, dois ramos abaixo, que deverão ter a mesma idade fisiológica (Figura 3).

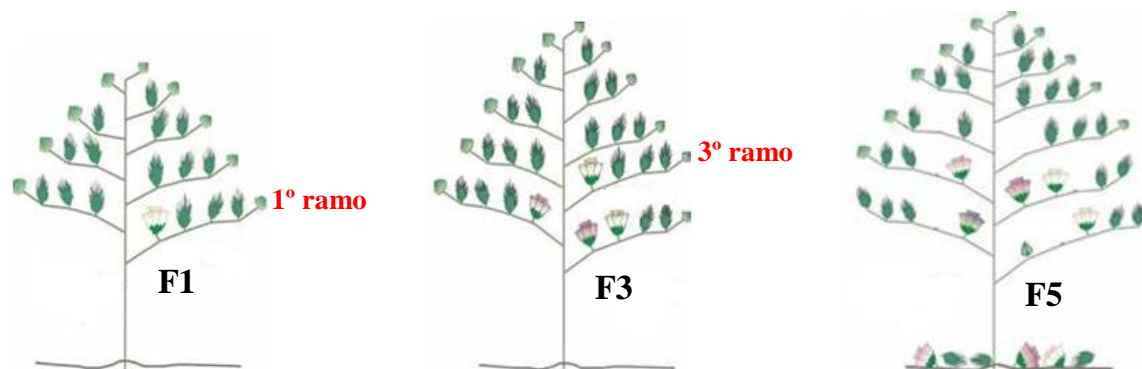


Figura 3. Fase de abertura de flores, de acordo com a escala fenológica elaborada por Marur e Ruano (2001).

No ramo frutífero em que se abre o primeiro capulho, o estágio passa a se denominar C. Logo, quando a primeira maçã do primeiro ramo se transformar em capulho o estágio de desenvolvimento passará para C1... se for no quinto ramo, por exemplo, será C5 (Figura 4). Sucessivamente, o estágio será Cn à medida que ocorrer a abertura da primeira maçã do ramo frutífero de número ‘n’ (Figura 4).

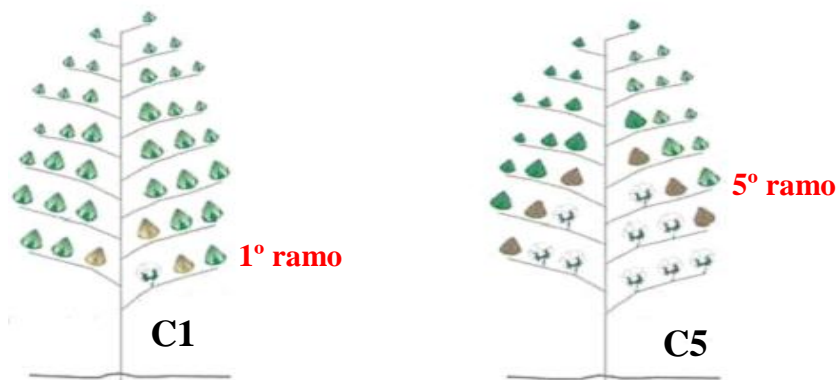


Figura 4. Plantas de algodão em estádios com capulhos, de acordo com escala fenológica elaborada por Marur e Ruano (2001).

3.2 Algodão naturalmente colorido

O cultivo do algodão colorido é recente no Brasil, com grande potencial, principalmente, na região Nordeste, que após o aparecimento de pragas que inviabilizaram economicamente o setor de produção do algodão branco, surgiu a necessidade de aperfeiçoar os sistemas produtivos e o desenvolvimento de cultivares geneticamente modificadas e adaptadas para voltar a viabilizar a produção de algodão na região (SOARES, 2015). Através de programas de melhoramento genético, a EMBRAPA Algodão vem gerando tecnologia e dispondo ao setor produtivo variedades de fibra colorida, com qualidade semelhante ou superior à fibra do algodão branco (DANIEL et al., 2011).

Por se tratar de um produto social e ecológico, as variedades naturalmente coloridas, pesquisadas pela Embrapa Algodão, são uma boa alternativa para o agronegócio da cotonicultura, pois os fios produzidos não passam pelos processos químicos de branqueamento e tingimento, evitando grande quantidade de resíduos ao meio ambiente (CARDOSO et al., 2010; EMBRAPA, 2017). Dentre os genótipos lançados, a ‘BRS Jade’ é uma cultivar de fibra colorida de cor marrom clara, obtida do cruzamento bi parental entre um material de fibra branca, adaptado às condições do Nordeste, e um outro de fibra colorida, ambos oriundos do Banco de Germoplasma da Embrapa Algodão (FARIAS, et al., 2017). Essa cultivar tem excelente padrão tecnológico, capaz de atender à demanda da indústria de fibra colorida, devido às boas características de fibra, alta produtividade e rendimento (EMBRAPA, 2017).

O cultivo de algodão colorido, portanto, tem despertado grande interesse de produtores e consumidores, por ser um mercado crescente, com grande potencial socioeconômico para fixação de mão de obra, geração de empregos e fonte de matéria-prima para a indústria têxtil (BARBOSA et al., 2019).

3.3 Pré - embebição de sementes

As sementes são os materiais mais utilizados na implantação/propagação dos cultivos agrícolas, mas, para o sucesso na produção das culturas, devem ser garantidas as condições que preservem a qualidade, em termos de germinação e vigor das plântulas. Nas fases seguintes, todas as condições para as plantas crescerem precisam ser favoráveis, segundo seu potencial genético, com garantias de alta produtividade final da cultura.

Um procedimento que pode ser utilizado para viabilizar a germinação das sementes e qualidade das plântulas, é a pré-embebição. Esse procedimento favorece a rápida e uniforme emergência das plântulas, porque permite antecipar e acelerar a atividade enzimática e os processos metabólicos, em geral, favorecendo a assimilação de reservas e o crescimento dos novos indivíduos, com a possibilidade de, em muitos casos, aumentar a resistência/tolerância às condições adversas do meio (MARCOS FILHO, 2005; PINEDO e FERRAZ, 2008; SANTOS et al., 2011).

3.4 Déficit hídrico no algodoeiro

É fato comprovado que o estresse por déficit hídrico, pode limitar o desenvolvimento das plantas cultivadas, mais que qualquer outro fator abiótico ambiental, haja vista ser a água o principal componente dos processos fisiológicos, bioquímicos, moleculares e morfológicos das plantas (BHARGAVA e SAWANT, 2013; NACHIMUTHU et al., 2017; TAIZ et al., 2017). Além de regular o potencial hídrico (FERNANDES-SILVA et al., 2016), reflete na produtividade agrícola em todo o planeta (MANSORI et al., 2015; NXELE et al., 2017).

As plantas quando submetidas em condições de déficit hídrico, sofrem alterações em todos os níveis de organização celular. Em fisiologia, por exemplo, o déficit hídrico induz a planta ao acúmulo de ácido abscísico (ABA), afetando a abertura estomática e, conseqüentemente, reduzindo a condutância estomática e as trocas gasosas, com alterações da concentração intercelular de CO₂ na câmara subestomática (*C_i*) e da transpiração (RICKES et al., 2017), o que resulta em diminuição da taxa fotossintética, inibição do crescimento e menor rendimento do algodão (CHASTAIN et al., 2014; SILVA et al., 2018).

O déficit hídrico pode, também, afetar a síntese de fotoassimilados e a produção da cultura, por resultar em menor taxa de assimilação de CO₂ e menor mobilização de reservas para o crescimento e manutenção das plantas sob estresse (RICKES et al., 2017). Devido à diminuição da capacidade fotossintética sob condições de estresse hídrico, uma baixa intensidade de luz é usada na fotossíntese, fazendo com que as plantas não possam utilizar maior proporção da energia da luz incidente para produzir ATP e NADPH₂, resultando em

fotoinibição (OUKARROUM et al., 2007, MARTINAZZO et al., 2013). As consequências são reduções no tamanho das folhas, no índice de área foliar e produção de fotoassimilados, levando à diminuição do número de estruturas reprodutivas, da altura das plantas, do número de capulhos por plantas, rendimento de fibra e da produtividade agrícola (MENESES, 2006; BATISTA, 2010).

O algodoeiro necessita de cuidados, principalmente, no período entre a emissão dos primeiros botões florais e a abertura da flor, período de maior sensibilidade da planta à deficiência hídrica (MARIANATO e LIMA, 1982; PETTIGREW, 2004). Um estresse hídrico nessa fase leva à queda das estruturas reprodutivas, com consequências na produção da cultura (BEZERRA et al., 2010; AQUINO et al., 2012).

3.5 Piruvato na fisiologia das plantas

A respiração celular desempenha um papel essencial para o crescimento e manutenção de todos os tecidos vegetais, por estar associada à produção de energia (HURRY et al., 1995; GRIFFIN e TURNBULL, 2013). Por meio da respiração, a energia solar envolvida na fotossíntese e armazenada como energia química, é liberada para a produção de ATP, a fonte de energia utilizada nas reações do metabolismo celular para manutenção, crescimento e desenvolvimento do vegetal (GRIFFIN e TURNBULL, 2013; TAIZ et al., 2017). É numa das etapas iniciais da respiração, antecedente à formação de ATP, que surge o piruvato.

Nas plantas C3, em que se enquadra o algodoeiro, o piruvato está presente em processos envolvidos na respiração e fotorrespiração. Na respiração, considerada nessa pesquisa, ocorre a produção de piruvato na mitocôndria, como resultado da oxidação da glicose pelo metabolismo aeróbio (presença de oxigênio), em um processo conhecido como glicólise (STANKO et al., 1992).

A formação de piruvato na via da respiração acontece em sequência de duas vias do metabolismo celular essenciais à célula: glicólise e ciclo de Krebs. Este derivado metabólico, produto final da glicólise (a glicose de 6 carbonos é quebrada em duas moléculas de 3 carbonos, o ácido pirúvico), passa do citosol para a matriz da mitocôndria, onde após conversão em Acetil-CoA é metabolizado pelo ciclo de Krebs, para gerar equivalentes redutores utilizados pela cadeia de transporte de elétrons durante a fosforilação oxidativa (KOH-BANERJEE et al., 2005; RAVEN et al., 2014; TAIZ et al., 2017).

Antes de entrar no ciclo de Krebs, o piruvato é descarboxilado em uma reação de oxidação catalisada pela piruvato desidrogenase, resultando em Acetil-Coenzima A (Acetil-CoA), CO₂ e NADPH (LI et al., 2014; TAIZ et al., 2017). O Acetil-Coenzima A atua como

substrato no ciclo do ácido cítrico (JACOBY et al., 2012) que é a fase seguinte da respiração celular e ao passar por uma série de reações, na cadeia respiratória ou cadeia de transporte de elétrons ('electron transport chain - ETC'), ocorre a formação de mais moléculas energéticas (TAIZ, et al., 2017). A ETC ocorre nas cristas mitocondriais, onde as moléculas produzidas nas fases anteriores (NADPH, FADH₂ e GTP) são convertidas em moléculas de ATP, a fonte principal de energia para as plantas e os seres vivos, em geral.

De acordo com Taiz et al. (2017), muitos fatores podem afetar a taxa respiratória das plantas. Por sua vez, eles abrangem a natureza e a idade do tecido vegetal, assim como fatores ambientais, como a luz, temperatura, suprimento de nutrientes e de água e as concentrações de O₂ e CO₂. A aplicação de piruvato na forma de piruvato de cálcio (produto de forma mais barato no comércio), considerando as plantas sob estresse hídrico tende a suplementar o ácido pirúvico nesse processo bioquímico (ciclo de Krebs), o que pode resultar em mais energia e condições mais favoráveis para ativação de mecanismos de tolerância ao fator de estresse.

4 MATERIAL E METÓDOS

4.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, entre os meses de abril e agosto de 2019, na área experimental da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, situada no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, nas coordenadas geográficas 07° 15' 18'' S, 35° 52' 28'' O e altitude de 550 metros. Conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (COELHO e SONCIN, 1982) o clima dessa região é do tipo Csa, que representa clima mesotérmico, sub úmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) além de período chuvoso de outono a inverno.

4.2 Fatores de estudo, tratamentos e delineamento estatístico

Os tratamentos resultaram da combinação entre três fatores: duas formas de pré-embrição de sementes (pré-embrição em água destilada (EA) e em solução de piruvato de cálcio (EP)), duas disponibilidades hídricas (déficit hídrico (E) e irrigado (SE)), aplicação de piruvato de cálcio em três fases fenológicas (vegetativo (V), florescimento (F) e vegetativo mais florescimento (VF)) e um tratamento adicional, como controle absoluto (sem pré-embrição das sementes, irrigação plena e sem aplicação de piruvato).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 3 + 1$. Os fatores combinados resultaram em 13 tratamentos, com três repetições e duas plantas por parcela, totalizando 39 unidades experimentais.

4.3 Condução do experimento e material genético

Coletou-se amostras do solo na camada de 0-20 cm de profundidade e encaminhadas ao laboratório de irrigação e salinidade (LIS), para a determinação dos atributos químicos e físicos. Tais resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo, determinadas no laboratório de irrigação e salinidade (LIS), Campina Grande, PB, 2019.

Características químicas do solo		Características físicas do solo	
pH	5,58	Areia	79,14%
P	115,4 cmolc dm ⁻³	Silte	18,29%
K ⁺	0,26 cmolc dm ⁻³	Argila	2,67%
Ca ⁺²	2,98 cmolc dm ⁻³	Densidade do solo	1,54 g cm ⁻³
Na ⁺	1,33 cmolc dm ⁻³	Densidade de partículas	2,71 g cm ⁻³
Mg ⁺²	1,17 cmolc dm ⁻³	Porosidade	47,17%
Al ⁺³	0,03 cmolc dm ⁻³	Umidade (% base de solo seco)	
H ⁺ + Al ⁺³	4,74 cmolc dm ⁻³	Natural	0,66
SB	5,74 cmolc dm ⁻³	Potenciais matriciais (kPa)	
M.O	1,62%	10	14,17
CTC (T)	10,48 cmolc dm ⁻³	33	11,42
CTC (t)	5,77 cmolc dm ⁻³	100	9,41
V	54,77%	500	4,60
m	0,55%	1000	4,56
		1500	4,40
		Água disponível	10,31

Método EMBRAPA; Extração: Água (pH); Mehlich (P, K, Na); KCl 1N (Ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al).

Com os valores da umidade do solo nas tensões de 10, 33, 100, 500, 1000 e 1500 kPa, foi realizado o ajuste da curva de retenção de água no solo (CRA), utilizando o modelo de Van Genuchten (1980).

As plantas de algodão (cv. BRS Jade) foram cultivadas em vasos plásticos, a funcionarem como lisímetros de drenagem. Na extremidade de cada lisímetro se inseriu um dreno para coleta da fração de lixiviação em uma garrafa plástica (capacidade de 2 Litros), para estimar o consumo hídrico da planta. Na base dos lisímetros foi colocada uma camada de 3 cm de brita e uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução do dreno pelo material e, em seguida, preenchidos com 19 dm³ de solo.

Para isso, foram utilizadas sementes da cultivar de algodão naturalmente colorido, a cv. BRS Jade, provenientes da EMBRAPA ALGODÃO, localizada na cidade de Campina Grande, PB, sendo semeadas 5 sementes por vaso entre 1 a 2 cm de profundidade, distribuídas de forma equidistante.

4.4 Aplicação dos tratamentos

A concentração de piruvato baseou-se em estudo desenvolvido por Shen et al. (2017) em folhas de *Arabidopsis thaliana*, incubadas em solução de piruvato nas concentrações de 10, 100 e 1000 µM. A concentração utilizada nesse estudo foi ajustada para 100 mM, diferente do estudo de Shen, haja vista a *Arabidopsis thaliana* ser uma espécie não cultivada. De posse da composição do piruvato de cálcio, adquirido pela American Pharm Supplements LLC (em 2000

mg de piruvato de cálcio, 250 mg corresponde a cálcio), a solução foi preparada a uma concentração de 100 mM de piruvato.

A aplicação de piruvato via semente ocorreu através da pré-embebição antes da semeadura por um período de 12 horas, temperatura de 30 °C. Na fase vegetativa, quando as plantas estavam com três folhas definitivas, iniciou-se o estresse hídrico que perdurou por 10 dias, sendo os últimos 5 com aplicação foliar de piruvato. Na fase de florescimento, por ocasião da abertura da primeira flor, as plantas foram submetidas ao déficit hídrico por 7 dias, sendo os 3 últimos com aplicação foliar de piruvato. O estresse cumulativo (vegetativa e florescimento) foi constituído pela mesma quantidade de dias de cada fase isolada.

A solução de piruvato foi aplicada com auxílio de um borrifador, em todas as folhas da planta, a partir das 17 horas. Durante o procedimento, as plantas de cada lisímetro foram protegidas com plástico e o solo coberto com uma manta, isolando o colete das plantas com algodão, a fim de evitar a deriva e o escoamento da solução para o solo (vide Figura 5).

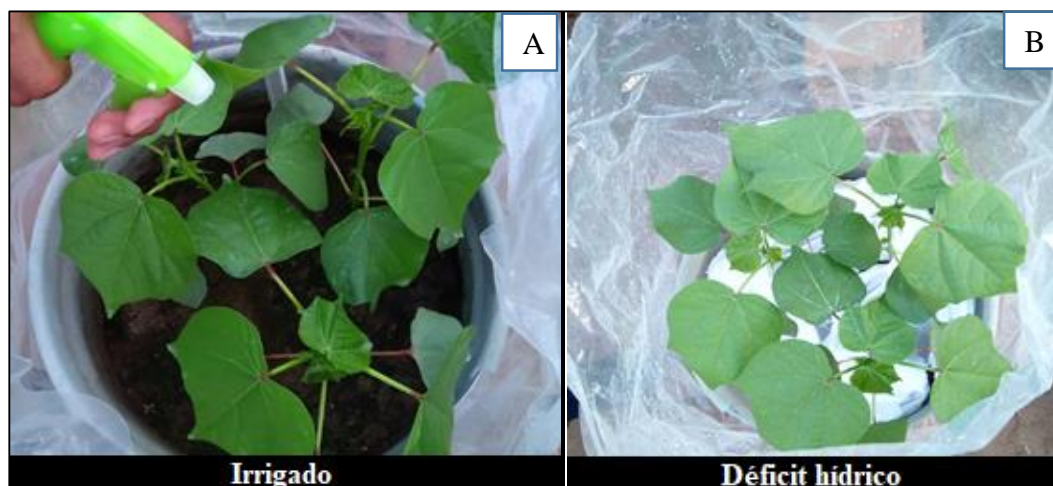


Figura 5. Aplicação da solução de piruvato de cálcio via foliar, em plantas de algodão nas fases fenológicas da cultura, sob irrigação plena (A) e déficit hídrico (B), cultivadas em casa de vegetação da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, 2019.

Ao término do déficit hídrico em cada fase, se retirou amostras de solo com auxílio de um mini-trado e levadas para o laboratório de física dos solos, para verificar o teor de umidade do solo nos tratamentos.

4.5 Manejo da Irrigação

Através do método de saturação por capilaridade seguida por drenagem determinou-se o volume necessário de água para o solo atingir o nível de umidade próximo a capacidade de campo.

Após a semeadura, as irrigações foram realizadas diariamente às 17 horas, aplicando-se em cada vaso, o volume de água correspondente à demanda da planta submetida ao tratamento. O volume aplicado em cada evento de irrigação foi estimado por meio de balanço hídrico, tomando como base a Eq. 1.

$$C_H = V_a - V_d \quad (1)$$

Em que:

C_H - Consumo hídrico (mL);

V_a - Volume de água aplicado às plantas no dia anterior (mL);

V_d - Volume drenado, quantificado na manhã do dia seguinte (mL).

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar no período da pesquisa (Figura 6) foram obtidos pelo departamento Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

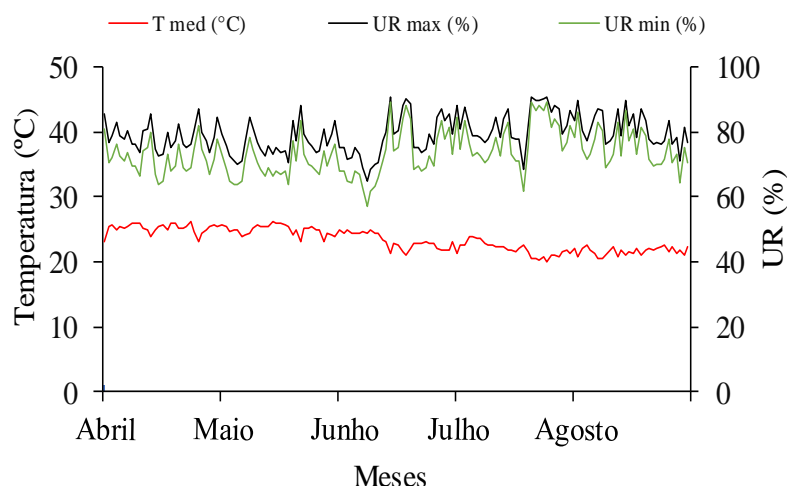


Figura 6. Temperatura (T) (°C), umidade relativa máxima (UR Max) (%) e mínima (UR Min) (%), observadas durante o período de condução do experimento. Campina Grande, PB. 2019. Fonte: Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG.

4.6 Manejo da adubação

A adubação seguiu a recomendação para ensaios em vasos (NOVAIS et al., 1991), utilizando 100, 300 e 150 mg de N, P e K por dm^3 , respectivamente, tendo como fonte a ureia (45% de N), MAP (11% de Nitrogênio e 65% de P_2O_5) e Cloreto de Potássio (60% K_2O). A quantidade de fósforo indicada foi aplicada em fundação e a de N e K parcelada em duas vezes.

4.7 Tratos culturais

Após a emergência das plantas foi realizado o desbaste, deixando três plantas por vaso, as de melhor vigor. Ao decorrer do experimento, a cultura foi mantida livre de plantas daninhas, eliminando manualmente, as que por ventura apareciam. Bem como, foram feitos tratos

fitossanitários preconizados para cultura do algodoeiro, monitorando o surgimento de pragas e doenças, adotando medidas de controle quando necessário.

4.8 Variáveis e parâmetros analisados

4.8.1 Variáveis de emergência

Para avaliar o efeito da pré-embebição na germinação das sementes, diariamente eram feitas as contagens das sementes emergidas. De posse dos dados, foram analisadas as seguintes variáveis: porcentagem de emergência (PE), realizada aos 5 dias após a semeadura, através da contagem de plântulas normais de cada parcela, com os resultados expressos em porcentagem, frequência média de emergência (FME) e índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME) e velocidade média de emergência (VME).

O índice de velocidade de emergência foi calculado utilizando a Eq. 2, desenvolvida por Maguire (1962):

$$IVE = \sum_{i=1}^{ni} \left(\frac{Ni}{Di} \right) \quad (2)$$

Em que:

IVG- índice de velocidade de germinação;

N1, N2 ... Ni- número de sementes emergidas na primeira contagem, segunda contagem ... i-ésima contagem, respectivamente;

D1, D2 ... Di- número de dias na primeira contagem, segunda contagem ... i-ésima contagem, respectivamente.

O tempo médio e velocidade média de emergência foram calculados pela Eq. 3, desenvolvida por Labouriau (1983):

$$TME = \frac{\sum_{i=1}^k ni \times ti}{\sum_{i=1}^k ni} \quad (3)$$
$$VME = \frac{1}{TME}$$

Em que:

TMG- Tempo médio de emergência (dias);

VME-Velocidade média de emergência (dias);

k- Último tempo de emergência das sementes;

ni- Número de sementes emergidas no tempo ti (não o número acumulado, mas aquele referido para a i-ésima observação);

ti- Tempo entre o início do experimento e a i-ésima observação (dias).

A frequência relativa de emergência foi calculada a partir dos dados de germinação diária em função do tempo (LABOURIAU e VALADARES, 1976), pela Eq. 4:

$$FRE = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (4)$$

Em que:

FRE- Frequência relativa de emergência (%);

k- Último tempo de emergência das sementes;

n_i - Número de sementes emergência no tempo t_i (não o número acumulado, mas aquele referido para a i -ésima observação).

4.8.2 Variáveis de crescimento

a) Número de folhas (NF): As avaliações foram realizadas aos 25 e 120 DAS. Na contagem, foram consideradas as folhas com comprimento superior a 2,5 cm (MARUR e RUANO, 2001).

b) Altura de planta (AP): Aos 25, 75 e 120 DAS. Considerando o comprimento da parte aérea, em centímetros, do nível do solo (colo da planta) até a gema apical do ramo principal.

c) Diâmetro do caule (DC): Nos 25, 75 e 120 DAS, determinado a 2 cm do solo, com uso de paquímetro digital, com leituras em 'mm'.

d) Área foliar (AF): Mensurada aos 25 e 120 DAS, conforme a equação proposta por Grimes e Carter (1969), medindo o comprimento da nervura principal da folha, para obter o valor da AF de cada folha (Eq. 5), considerando as folhas completamente expandidas.

$$AF_{\text{folha}} = 0,4322 X^{2,3002}$$

$$AF_{\text{planta}} = \sum AF_{\text{folha}} \quad (5)$$

Em que:

AF_{folha} é a área foliar (cm^2) de cada folha do algodoeiro 'X' o comprimento da nervura principal da respectiva folha (cm), sendo a área foliar por planta (AF_{planta}) determinada pelo somatório da área foliar ($\sum AF_{\text{folha}}$) de todas as folhas.

4.8.3 Parâmetros fisiológicos

Em cada fase fenológica (vegetativa e florescimento) foram realizadas duas avaliações de trocas gasosas (ao final do estresse hídrico e 32 horas após a reidratação), tomando-se a terceira folha completamente expandida, do ápice para a base, determinando a condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), através de equipamento portátil de trocas gasosas (Infra Red Gas Analyser-RGA, marca ADC BioScientific Ltd, modelo

LC-Pro), utilizando fonte artificial de radiação de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. De posse desses dados, foi estimada a eficiência instantânea da carboxilação (*EiC*) (*A/Ci*) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$] (KONRAD et al., 2005; MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

4.8.4 Variáveis de produção, acúmulo de massa e eficiência do uso da água

Aos 120 DAS as plantas foram colhidas, armazenadas em sacos de papel, identificadas e levadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão (0,01 g) para a determinação da massa seca.

Quanto aos componentes de produção, foram avaliados o número de capulhos (NC), massa de capulhos completo (MCC- g) massa de pluma com semente (MPCS- g), massa de um capulho (M1CAP- g), massa seca das folhas (MSF- g), massa seca do caule (MSC- g), massa seca da parte aérea (MSPA -g) e eficiência de uso da água (EUA- g L^{-1}) por planta. A determinação da eficiência do uso da água por planta (EUA- g L^{-1}) foi obtida da relação massa de pluma com sementes (g) e a lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura (L), adaptada de Geerts e Raes (2009) Eq. 6.

$$EIUA = \frac{P}{I} \quad (6)$$

Em que:

EUA- Eficiência do uso da água (g L^{-1});

P- Produção de pluma com sementes por planta (g);

I- Lâmina de água aplicada por planta (L).

4.9 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e avaliados mediante análise de variância pelo teste 'F'. Em seguida, se aplicou o teste de médias Tukey ($p \leq 0,05$) para os tratamentos e o teste de Dunnett que visa comparar o controle absoluto com as médias de cada tratamento em estudo, através do Software ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Emergência

Através do teste F, verifica-se diferença significativa ($p \leq 0,05$) em função dos tratamentos sobre o índice de velocidade de emergência, tempo médio de emergência, velocidade média de emergência e frequência relativa de emergência, porém, para porcentagem de emergência não foi verificado o mesmo (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis porcentagem de emergência (PE), índice de velocidade (IVE), tempo médio (TME), velocidade média (VME) e frequência média de emergência (FME) de plântulas de algodoeiro colorido “BRS Jade”, sob diferentes formas de pré-embebição.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios				
		PE	IVE	TME	VME	FRE
Tratamentos	2	155,556 ^{ns}	1,795 ^{**}	9,858 ^{**}	0,085 ^{**}	970,601 ^{**}
Resíduo	51	68,409	0,079	0,131	0,002	18,349
Total	53	-	-	-	-	-
CV (%)	-	8,56	17,21	11,27	13,70	12,60

* e ** - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} - não significativo a 5% de probabilidade. CV- Coeficiente de variação.

As plântulas oriundas da pré-embebição em solução de piruvato ou em água destilada, obtiveram similaridade quanto ao índice de velocidade emergência (IVE), frequência média de emergência (FME) e velocidade média de emergência (VME), não diferindo estatisticamente entre si. Entretanto, as plantas que não foram submetidas a pré-embebição (Controle) tiveram menores IVE (1,28), VME (0,25 dias) e FRE (25,5%), fato que evidencia a necessidade de se romper a estrutura do tegumento das sementes de algodão cv. BRS Jade (Figura 7A, B e D).

Em relação ao tempo médio de emergência (Figura 7C), constata-se que a pré-embebição de sementes em solução de piruvato de cálcio ou em água destilada, proporcionaram os menores tempos de emergência (aproximadamente 3,0 dias, respectivamente) em relação ao controle absoluto (4,0 dias).

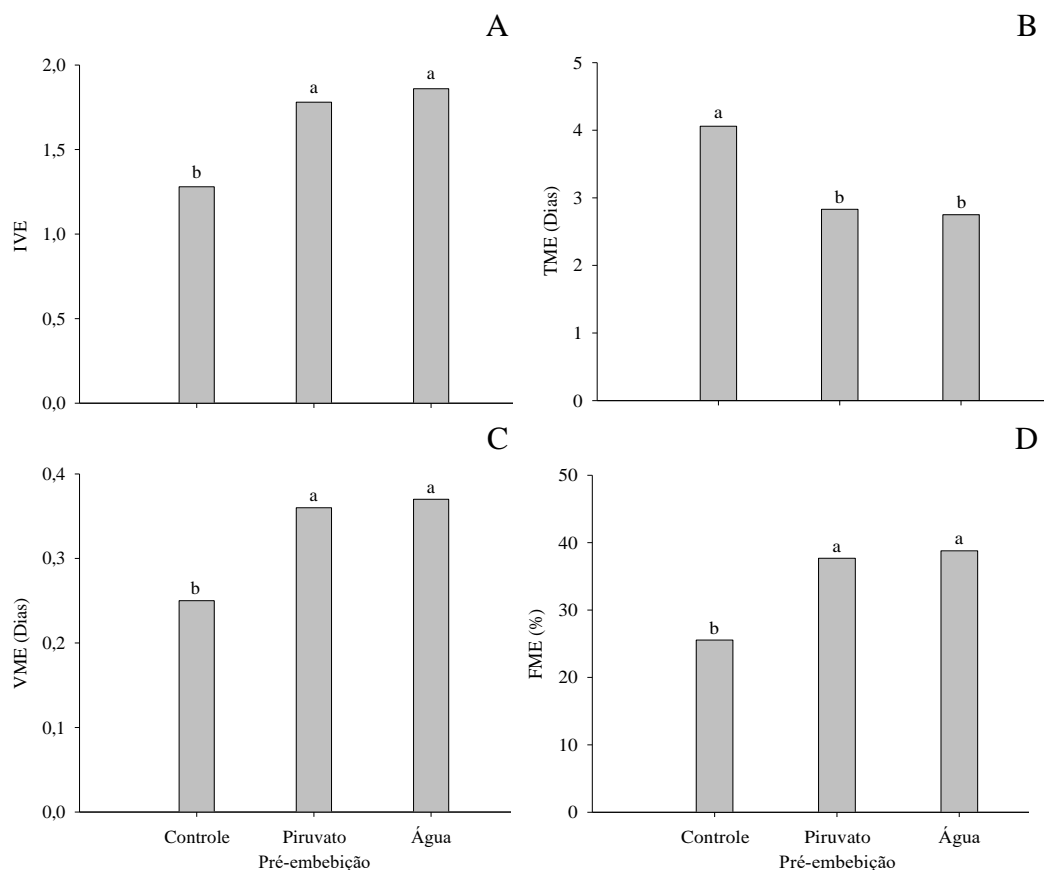


Figura 7. Índice de velocidade (IVE), tempo médio (TME), velocidade (VME) e frequência média de emergência (FME) de plântulas do algodoeiro colorido “BRS Jade”, sob diferentes formas de pré-embebição. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

Estes resultados estão coerentes com os encontrados por Alves et al. (2005), que ao estudarem o efeito da pré-embebição de sementes de *Moringa oleífera* em água, verificaram que a embebição das sementes proporciona uma melhor expressão das variáveis de germinação. Em síntese, a exposição das sementes aos tratamentos pré-germinativos, dentre eles, a pré-embebição tem sido uma das tecnologias testadas em várias espécies para facilitar a germinação, bem como a rápida e uniforme emergência das plântulas (SANTOS et al., 2011; RABBANI et al., 2013).

5.2 Umidade do solo

A curva de retenção de água representa a relação entre o teor de água no solo e a energia com a qual está retida, nos poros ou adsorvida nas partículas minerais do solo, fornecendo assim, informações sobre a habilidade do solo em reter e liberar água, dando ideia do volume de água disponível às plantas (MELO FILHO et al., 2015).

Apesar da capacidade de campo em solo arenoso (como é o caso do solo utilizado no experimento) ser considerada a um potencial matricial de -10 kPa (REICHARDT e TIMM,

2004), nos tratamentos sem deficiência hídrica, a umidade do solo estava a um potencial matricial de -32,5 kPa, respectivamente (Figura 8A). Essa redução da umidade nos tratamentos sob irrigação plena, pode ter ocorrido em função do número de plantas em cada unidade experimental, da perda de umidade no momento da coleta e pela absorção de água pelas plantas até o momento da coleta das amostras de solo. Para os tratamentos com estresse e aplicação com piruvato, apresentava-se em -1299,5 kPa, respectivamente.

Na fase de florescimento (Figura 8B), nos tratamentos sem estresse hídrico, a umidade do solo atingiu um potencial matricial de -35,6 kPa (Figura 8B). Este fato pode ser justificado porque no florescimento ocorre um maior consumo hídrico, visto que, a necessidade de água é baixa nos estádios iniciais e alta no período de floração (CARVALHO et al., 2013).

Para os tratamentos sob déficit hídrico, identificou-se que ao final do estresse hídrico a umidade do solo atingiu um potencial de aproximadamente -1600 kPa, respectivamente. Esses resultados evidenciam que as plantas de algodão (BRS JADE) foram capazes de extrair água em potenciais abaixo de -1500 kPa (ponto de murcha).

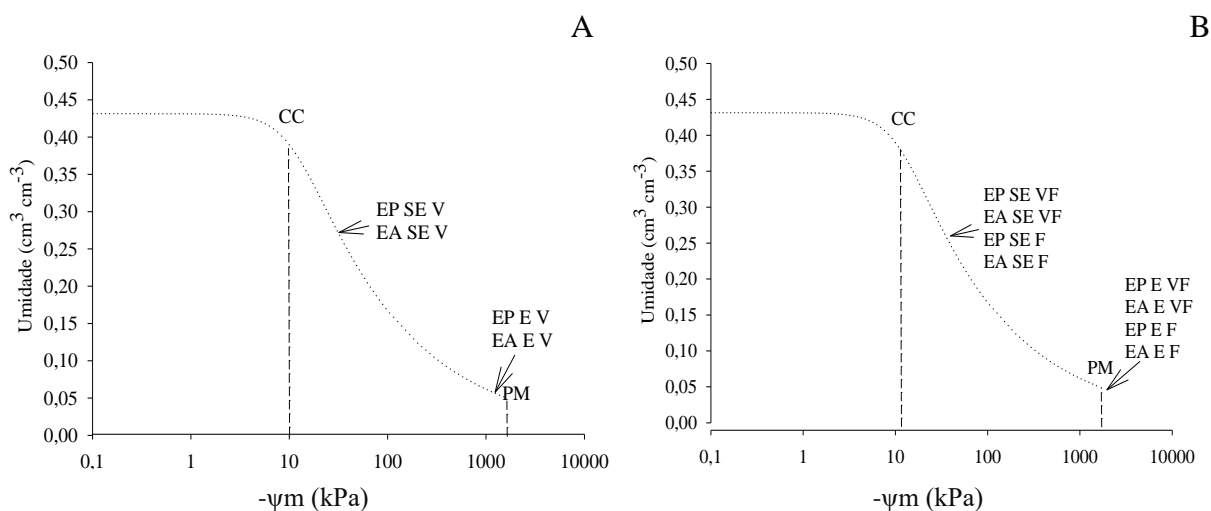


Figura 8. Curva de retenção de água do solo, ajustada de acordo com o modelo de Van Genuchten para os tratamentos na fase vegetativa (A) e no florescimento (B). EA- Pré-embebição em água destilada; EP- pré-embebição em solução de piruvato de cálcio; E- déficit hídrico; SE- sem déficit hídrico; aplicação de piruvato de cálcio nas fases, vegetativa (V), florescimento (F) e vegetativo mais florescimento (VF). Campina Grande, PB, 2019.

O conteúdo de água é avaliado nos potenciais de -30 ou -10 kPa para a capacidade de campo e -1500 kPa para o ponto de murcha. Vários estudos criticam estas definições, dentre eles Ritchie (1981), Ratcliff et al. (1983) e Reid et al. (1984). Os principais argumentos dos autores são de que as plantas podem retirar água do solo submetida a potenciais menores que -1500 kPa, embora esta extração de água muito frequentemente, signifique um erro na determinação do conteúdo de água (GARDNER e EHLING, 1963). De acordo com Carlesso

(1995), determinações laboratoriais do ponto de murcha e da capacidade de campo, regularmente, não conferem com valores obtidos a campo.

Quando o teor de água do solo atinge o ponto de murcha, as plantas envidam esforços significativos para preservar a água, o que pode levar ao aumento da temperatura das folhas (CARMO-SILVA et al., 2012) devido à redução da capacidade evaporativa, que também tem a função de resfriamento do dossel. Com isso, a atividade metabólica da planta é afetada, refletindo no crescimento e desenvolvimento.

Na Figura 9, encontra-se a imagem dos tratamentos sob deficiência hídrica com aplicação exógena de piruvato de cálcio nas fases fenológicas do algodoeiro. É possível observar formação de folhas pequenas, com redução na área foliar e conseqüente, redução na absorção de luz pela planta e na produção de fotoassimilados, levando à diminuição do número de estruturas reprodutivas, da altura das plantas, do número de capulhos por plantas.

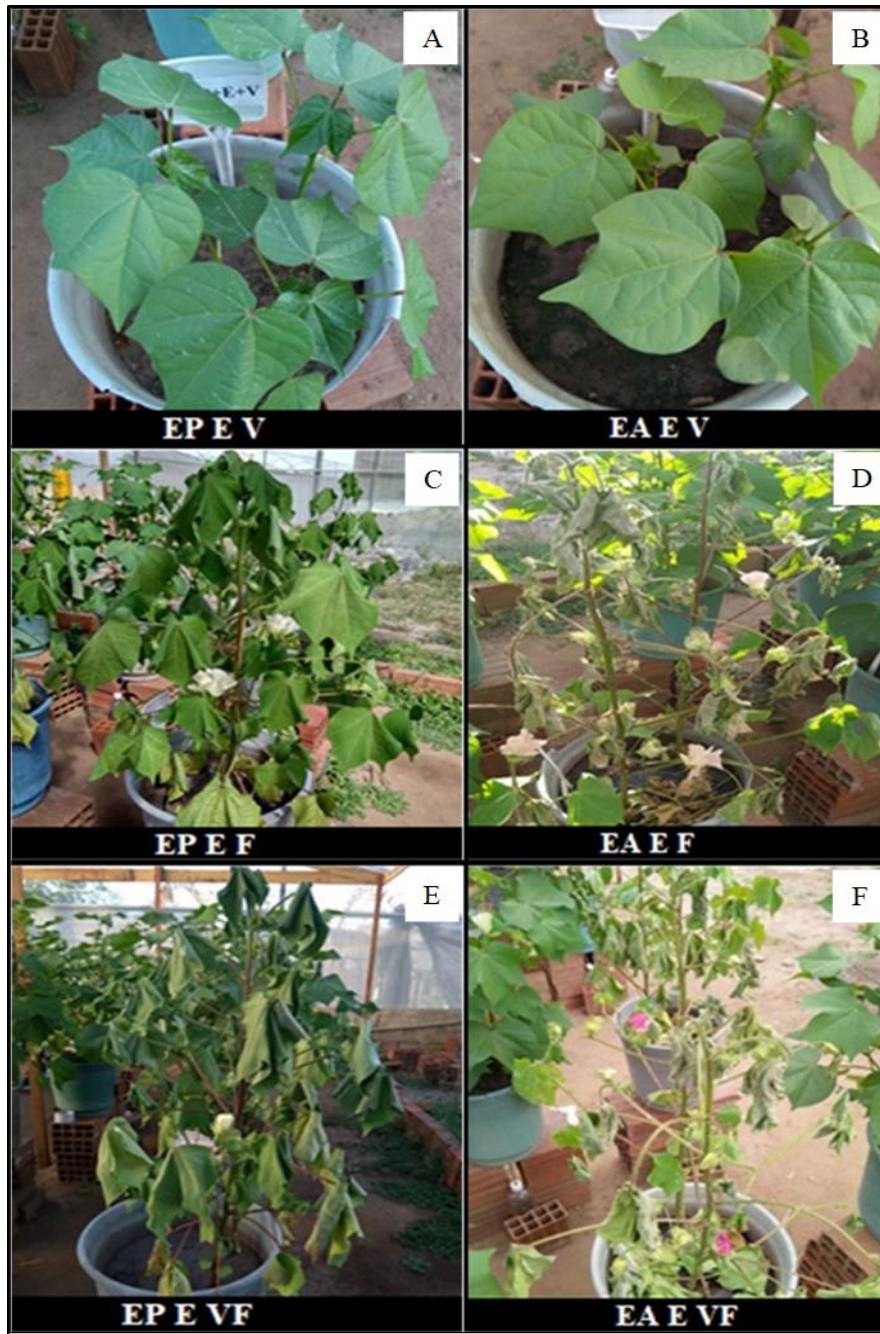


Figura 9. Visão geral das plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato. EA- Pré-embebição em água destilada; EP- pré-embebição em solução de piruvato de cálcio; E- déficit hídrico; aplicação de piruvato de cálcio nas fases, vegetativa (V), florescimento (F) e vegetativo mais florescimento (VF). Campina Grande, PB, 2019.

5.3 Crescimento e acúmulo de massa

Aos 25 DAS não foi constatado efeito significativo entre os fatores estudados pré-embebição x disponibilidade hídrica com suplementação de piruvato. Quando estudado os fatores isolados, observa-se efeito significativo da disponibilidade hídrica com suplementação de piruvato sobre a altura de planta (AP), número de folhas (NF), área foliar (AF) e diâmetro de caule (DC). Para o fator pré-embebição, não foi constatado significância (Tabela 3).

Aos 75 DAS, nota-se interação significativa entre os fatores (pré-embebição x disponibilidade hídrica) sobre a altura das plantas. Para o diâmetro do caule foi observada interação entre disponibilidade hídrica (DH) x fases fenológicas (F) (Tabela 3).

Aos 120 DAS, houve interação entre os fatores pré-embebição x fases fenológicas sobre a variável diâmetro de caule, e interação disponibilidade hídrica x fases fenológicas para massa seca de folhas (MSF) e massa seca da parte aérea (MSPA) (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), número de folhas (NF), massa seca de folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato variando as fases fenológicas, aos 25, 75 e 120 DAS.

F. de variação	GL	Quadrados médios					
		25 DAS					
		AP	NF	AF	DC		
Pré-emb. (PE)	1	3,328 ^{ns}	0,333 ^{ns}	5219,880 ^{ns}	0,046 ^{ns}		
D. hídrica (DH)	1	49,369 ^{**}	7,269 ^{**}	165894,200 ^{**}	2,641 ^{**}		
Int. PE x DH	1	0,929 ^{ns}	0,038 ^{ns}	1191,580 ^{ns}	0,020 ^{ns}		
Fatorial x Test	1	0,066 ^{ns}	0,264 ^{ns}	395,100 ^{ns}	0,066 ^{ns}		
Tratamentos	4	13,423 ^{**}	1,976 ^{**}	43175,190 ^{**}	0,693 ^{**}		
Blocos	2	1,607 ^{ns}	0,141 ^{ns}	1987,550 ^{ns}	0,005 ^{ns}		
Resíduo	8	1,019	0,281	3211,280	0,075		
Total	14	-	-	-	-		
CV (%)	-	3,88	7,78	12,47	6,91		
75 DAS							
		AP		DC			
Pré-emb. (PE)	1	0,173 ^{ns}		0,010 ^{ns}			
D. hídrica (DH)	1	1018,673 ^{**}		19,068 ^{**}			
Fases (F)	2	18,271 ^{ns}		1,581 [*]			
Int. PE x DH	1	95,063 [*]		1,138 ^{ns}			
Int. PE x F	2	10,549 ^{ns}		0,636 ^{ns}			
Int. DH x F	2	41,299 ^{ns}		3,595 ^{**}			
Int. PE x DH x F	2	12,021 ^{ns}		0,484 ^{ns}			
Fatorial x Test	1	28,505 ^{ns}		2,588 [*]			
Tratamentos	12	108,891 ^{**}		2,949 ^{**}			
Blocos	2	37,699 ^{ns}		0,015 ^{ns}			
Resíduo	24	16,407		0,389			
Total	38	-		-			
CV (%)	-	4,90		5,32			
120 DAS							
		AP	NF	DC	MSF	MSC	MSPA
Pré-emb. (PE)	1	3,062 ^{ns}	0,209 ^{ns}	0,062 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	3,192 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
D. hídrica (DH)	1	680,34 ^{**}	17,327 ^{**}	2,200 [*]	0,0228 ^{**}	87,984 ^{**}	0,0001 ^{ns}
Fases (F)	2	2,798 ^{ns}	1,186 [*]	0,592 ^{ns}	0,0056 [*]	3,248 ^{ns}	0,0003 ^{ns}
Int. PE x DH	1	82,506 ^{ns}	0,127 ^{ns}	0,562 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	12,960 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
Int. PE x F	2	8,770 ^{ns}	0,795 ^{ns}	1,672 [*]	0,0032 ^{ns}	0,085 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Int. DH x F	2	16,381 ^{ns}	0,971 ^{ns}	0,176 ^{ns}	0,0085 ^{**}	11,380 ^{ns}	0,0005 [*]
Int. PE x DH x F	2	26,465 ^{ns}	0,371 ^{ns}	0,285 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	5,524 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Fatorial x Test	1	25,154 ^{ns}	0,500 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,0013 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Tratamentos	12	74,991 ^{**}	2,067 ^{**}	0,692 ^{ns}	0,0050 ^{**}	12,056 ^{ns}	0,0002 ^{ns}
Blocos	2	38,211 ^{ns}	0,503 ^{ns}	0,224 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	1,614 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
Resíduo	24	20,225	0,341	0,408	0,0014	10,891	0,0001
Total	38	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	5,49	10,14	5,45	13,16	12,48	7,14

NF 120 DAS - os dados foram transformados em \sqrt{x} e MSF - transformados em $1/\sqrt{x}$; ns, * e ** - não significativo, significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

5.3.1 Crescimento de plantas de algodoeiro aos 25 DAS

Constata-se redução de 14,4, 20,2, 41,3 e 20,7%, respectivamente, sobre a altura de planta, número de folhas, área foliar e diâmetro do caule de plantas do algodoeiro sob déficit hídrico e suplementadas com piruvato, em relação as plantas cultivadas sob irrigação plena e suplementadas com piruvato (Figura 10).

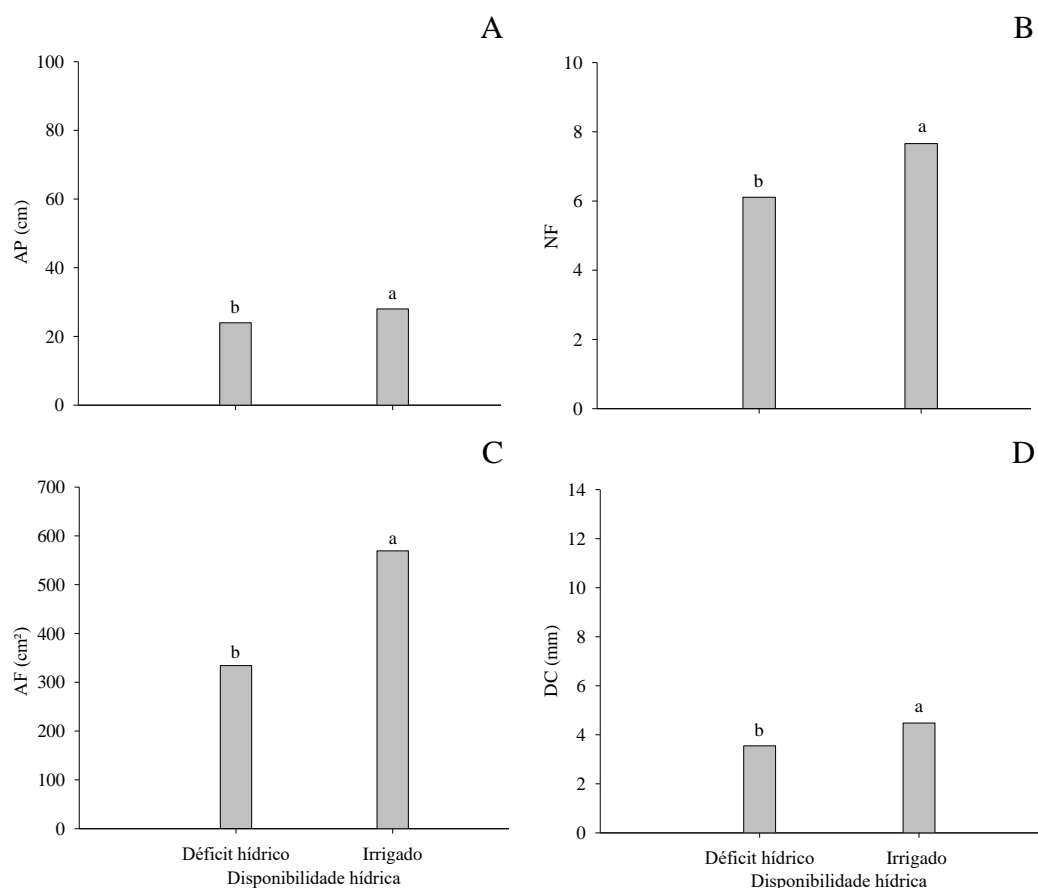


Figura 10. Altura de plantas (A), número de folhas (B), área foliar (C) e diâmetro do caule (DC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, sob disponibilidade hídrica, aos 25 dias após a semeadura (DAS). Médias seguidas de mesma letra para disponibilidade hídrica não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

De acordo com Taiz et al. (2017), a redução nessas variáveis ocorre porque a deficiência hídrica está associada aos efeitos sobre a divisão e expansão de células foliares, redução de turgescência celular e alterações nas propriedades da parede celular que limitam a expansão das células. Ainda de acordo com os mesmos autores, a redução da emissão e da área foliar em situações de deficiência hídrica é uma resposta fisiológica, que resulta na diminuição da superfície transpiratória e de modo indireto, na conservação da água no solo, o que gera economia de água para períodos posteriores.

Ao avaliar o tratamento controle x os tratamentos do fatorial (Tabela 4), verifica-se diferença significativa na altura de planta e na área foliar quando comparado as plantas de algodoeiro oriundas da pré-embebição das sementes em piruvato e que, passaram por estresse

e suplementação de piruvato na fase vegetativa (EP E V) em relação as plantas do tratamento controle, com redução de 11,5% (Altura de planta) e 34,7% (Área foliar).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos do fatorial x o tratamento controle sobre o número de folhas e diâmetro de caule, indicando que essas variáveis não foram afetadas pelo déficit hídrico, sugerindo que a suplementação de piruvato pode ter atenuado os efeitos deletérios do estresse hídrico.

Tabela 4. Teste de Dunnett para altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato, aos 25 DAS.

Tratamentos	AP	NF	AF	DC
EP E V	23,16 *	5,89 ^{ns}	303,34 *	3,45 ^{ns}
EP SE V	27,78 ^{ns}	7,56 ^{ns}	558,43 ^{ns}	4,47 ^{ns}
EA E V	24,77 ^{ns}	6,33 ^{ns}	364,98 ^{ns}	3,65 ^{ns}
EA SE V	28,28 ^{ns}	7,78 ^{ns}	580,21 ^{ns}	4,51 ^{ns}
Controle	26,17	6,56	464,59	3,85
Dms	2,48	1,31	139,73	0,68

EP- Pré-embebição em solução de piruvato; EA- Pré-embebição em água destilada; E- Déficit hídrico; SE- Irrigado; V - fase vegetativa. * e ^{ns} diferença significativa e não significativa entre o controle e os tratamentos do fatorial a 5% de probabilidade pelo teste de DUNNETT.

5.3.2 Crescimento de plantas do algodoeiro aos 75 DAS

Quanto ao desdobramento entre pré-embebição de sementes (PE) x disponibilidade hídrica (DH), a disponibilidade hídrica reduziu a altura de plantas de algodão, com decréscimo de 15% quando pré-embebidas em solução de piruvato e 8,6% em água, quando comparado as plantas sob irrigação plena com as que foram submetidas ao déficit hídrico (Figura 11A).

Nas plantas de algodão submetidas ao déficit hídrico, vê-se incremento de 9,1 e 13,3% no diâmetro do caule para a fase vegetativa (V) em relação a fase de florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), respectivamente, quando suplementadas com piruvato de cálcio (Figura 11B). Verifica-se ainda, que não houve diferença significativa entre as plantas cultivadas sob irrigação plena e as que foram submetidas a deficiência hídrica, na fase vegetativa. Em contrapartida, nas fases florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), houve reduções de 10,2 e 20,6% sobre o diâmetro do caule, respectivamente, ao contrastar com irrigação plena e déficit hídrico (Figura 11B).

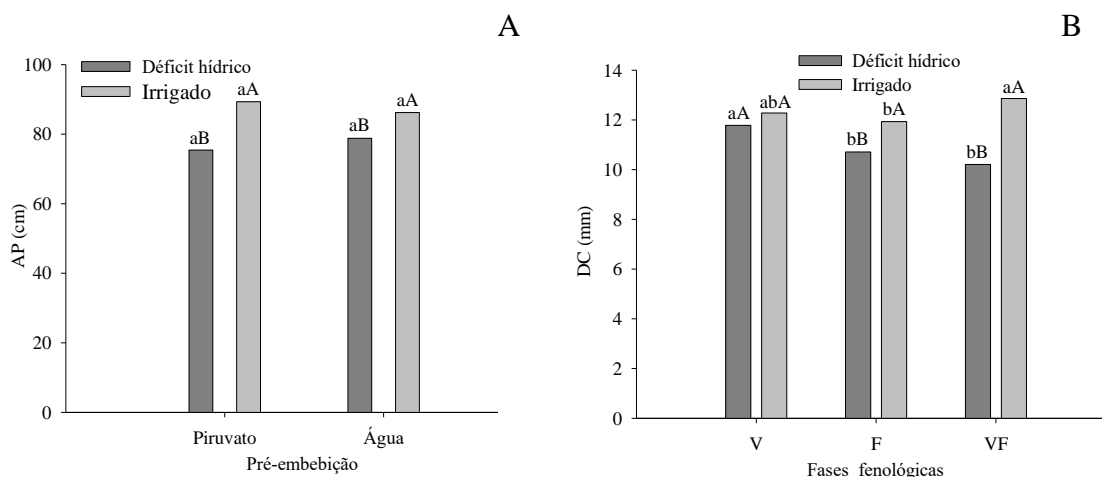


Figura 11. (A) altura de plantas (AP) do algodoeiro colorido “BRS Jade”, correspondente a interação PE x DH. Em 11B: diâmetro do caule (DC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, correspondente à interação DH x F aos 75 dias após a semeadura (DAS). Letras minúsculas iguais não diferem para pré-embebição e fases fenológicas e letras maiúsculas para disponibilidade hídrica, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

Aos 75 DAS (Tabela 5), observa-se redução significativa na altura de plantas de algodão nos tratamentos EP E F e EP E VF com menores médias (73,67 e 75,0 cm, respectivamente) em relação ao controle absoluto (85,67 cm), os demais tratamentos não diferiram do tratamento controle. Para o diâmetro do caule, os tratamentos EP E VF, EA E F e EA E VF diferiram estatisticamente do controle, obtendo as menores médias (10,0, 10,30 e 10,43 mm, respectivamente).

A redução em tais variáveis, quando as plantas foram submetidas a estresse hídrico nas fases de florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), pode ser justificada pelo fato de que, nestas fases as estruturas reprodutivas estão sendo formadas, sendo o período de maior requerimento de água, ou seja, tornando-se mais sensível ao estresse hídrico. Podendo ser reforçado ainda, pela deficiência hídrica que diminui o volume celular, sendo o primeiro e mais sensível efeito, a diminuição da turgescência e associado a esse evento, ocorre a redução da altura da planta (LARCHER, 2006).

Tabela 5. Teste de Dunnett para altura de planta (AP) e diâmetro do caule (DC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato variando as fases fenológicas, aos 75 DAS.

Tratamentos	AP	DC
EP E V	77,67 ^{ns}	12,07 ^{ns}
EP E F	73,67 [*]	11,13 ^{ns}
EP E VF	75,00 [*]	10,00 [*]
EP SE V	89,67 ^{ns}	12,40 ^{ns}
EP SE F	89,00 ^{ns}	11,53 ^{ns}
EP SE VF	89,33 ^{ns}	12,57 ^{ns}
EA E V	83,33 ^{ns}	11,50 ^{ns}
EA E F	77,33 ^{ns}	10,30 [*]
EA E VF	75,83 ^{ns}	10,43 [*]
EA SE V	84,33 ^{ns}	12,17 ^{ns}
EA SE F	89,33 ^{ns}	12,33 ^{ns}
EA SE VF	85,00 ^{ns}	13,17 ^{ns}
Controle	85,67	12,60
Dms	9,92	1,53

EP- Pré-embebição em solução de piruvato de cálcio; EA- Pré-embebição em água destilada; E- Déficit hídrico; SE- Irrigado; Aplicação de piruvato de cálcio nas fases, vegetativa (V), florescimento (F) e vegetativo mais florescimento (VF). ^{*} e ^{ns} diferença significativa e não significativa entre o controle e os tratamentos do fatorial a 5% de probabilidade pelo teste de DUNNETT.

5.3.3. Crescimento e acúmulo de massa de plantas de algodoeiro aos 120 DAS

Seguindo a mesma tendência das avaliações realizadas aos 25 e 75 DAS, houve decréscimo na altura de plantas aos 120 DAS de 10,5%, ao contrapor às plantas com irrigação plena com as sob déficit hídrico (Figura 12A).

Quando estudado o fator disponibilidade hídrica, observa-se aumento de 27,3% no número de folhas (Figura 12B), quando comparado às plantas submetidas ao déficit hídrico com as cultivadas sob irrigação plena. Isso se dá pelo fato de que após as plantas terem sido submetidas ao estresse hídrico, houve elevada senescência das folhas como forma de superar tal condição e ao serem reidratadas, aumentaram a emissão de novas folhas.

A suplementação com piruvato nas fases de florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF) proporcionou maior emissão de folhas (Figura 12C). Esse fato deveu-se ao efeito do piruvato, pois quando ele é metabolizado, ocorre a produção de moléculas energéticas, que são utilizadas pela cadeia respiratória durante a fosforilação oxidativa, ou seja, mais energia para as plantas (TAIZ et al., 2017).

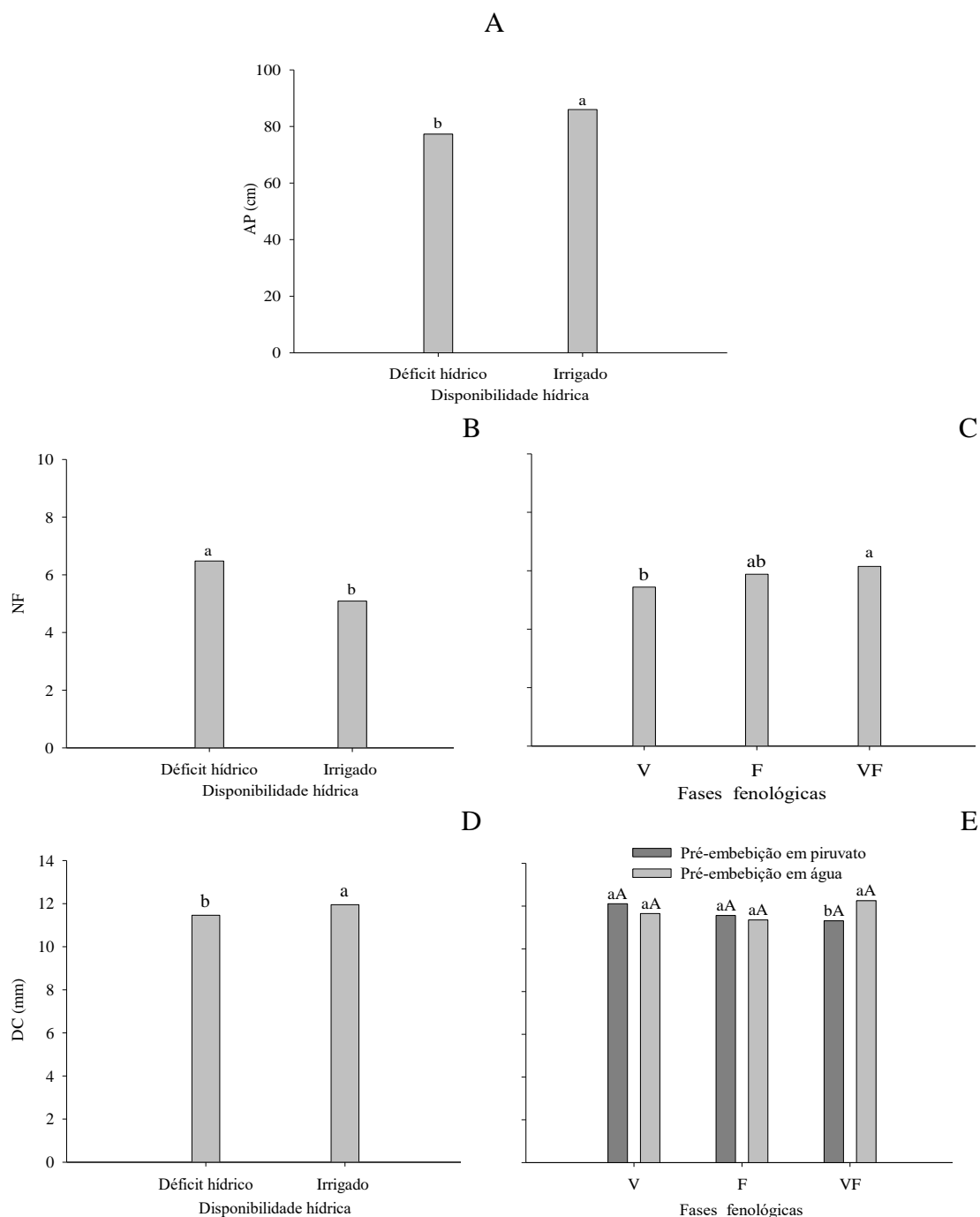


Figura 12. Disponibilidade hídrica para altura de plantas (AP) (A), número de folhas (NF) (B) e diâmetro de caule (DC) (D) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, aos 120 dias após a semeadura (DAS). (C) número de folhas de algodoeiro, sob aplicação de piruvato nas fases fenológicas. (E) diâmetro do caule na interação PE x F. Letras minúsculas iguais não diferem para disponibilidade hídrica e pré-embrição e letras maiúsculas iguais não diferem para fases fenológicas pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

Confrontando as plantas cultivadas sob irrigação plena com as cultivadas sob déficit hídrico, aos 120 dias após a semeadura (DAS), observa-se redução de 4,1% no diâmetro do caule (Figura 12D). Uma explicação pode ser feita a partir da relação caule/parte aérea. Como a deficiência hídrica causa a redução no número de folhas e na massa da copa, o diâmetro

caulinar da planta é reduzido, além disso, o fluxo de nutrientes, procede em menor atividade, não havendo necessidade de expansão (KERBAUY, 2004).

Quanto ao desdobramento entre pré-embebição x fases fenológicas (PE x F), verifica-se que a pré-embebição das sementes em consonância com a suplementação via foliar de piruvato de cálcio na fase vegetativa (V) e florescimento (F) colaboraram com aumento no diâmetro do caule em relação as plantas com suplementação de piruvato nas fases vegetativa mais florescimento (VF). Constata-se ainda que, não houve diferença entre as formas de pré-embebição das sementes (piruvato e água destilada) nas fases vegetativa (V) e florescimento (F), porém na fase vegetativa mais florescimento (VF), a pré-embebição em água foi mais eficiente (Figura 12E).

A suplementação com piruvato foi eficaz na atenuação do estresse hídrico, quando aplicado na fase vegetativa, não havendo diferença significativa entre as plantas cultivadas sob irrigação plena e déficit hídrico (Figura 13A). O déficit hídrico afetou negativamente a massa seca das folhas do algodoeiro cv. BRS Jade nas fases florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), com reduções de 19,4 e 29,0%, respectivamente, em comparação com a fase vegetativa (Figura 13A).

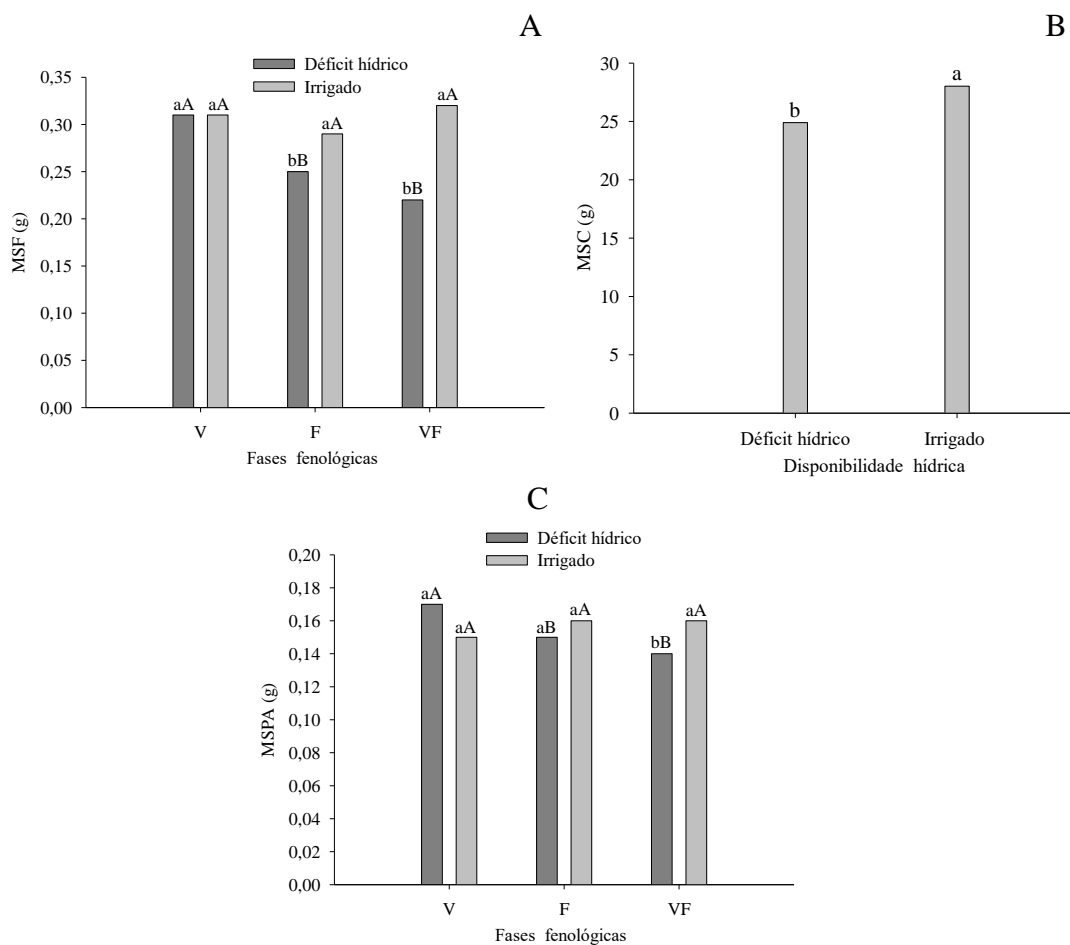


Figura 13. Desdobramento da interação DH x F para massa seca das folhas (MSF) e massa seca da parte aérea (MSPA) (A e C). Em 13B: massa seca de caule (MSC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, sob disponibilidade hídrica. Letras minúsculas iguais não diferem para disponibilidade hídrica e maiúsculas para fases fenológicas não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). MSF e MSPA- transformados em $1/\sqrt{x}$. Campina Grande, PB, 2019.

Para disponibilidade hídrica nas fases florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), observa-se menor acúmulo de massa das folhas nas plantas submetidas ao déficit hídrico, com reduções de 13,7 e 31,2%, respectivamente, em relação ao tratamento irrigado (Figura 13A). Nesses tratamentos foi constatado maior emissão de folhas, entretanto, por serem novas, ou seja, pequenas, houve menor massa de folhas. Isto se deve ao fato de que, o déficit hídrico reduz a multiplicação e divisão celular no interior do tecido vegetal, o que resulta em menor crescimento da parte aérea, que como mecanismo de defesa ao início da restrição hídrica reduzem a expansão foliar (TAIZ et al., 2017).

O déficit hídrico também interferiu de forma negativa sobre a massa seca de caule, constatando-se decréscimo de 11,1%, em relação ao tratamento irrigação plena (Figura 13B). Para a massa seca da parte aérea (Figura 13C), observa-se diferença significativa entre o tratamento irrigação plena e déficit hídrico, apenas na fase vegetativa mais florescimento (VF),

afetando o acúmulo de massa das plantas de algodão. De acordo com Rickes et al. (2017), o déficit hídrico afeta a produção e o uso de fotoassimilados por induzir uma menor assimilação de CO₂ e mobilizar reservas para o crescimento e manutenção de plantas.

Verifica-se que a suplementação de piruvato de cálcio na fase vegetativa (V) e na fase de florescimento (F) atenuou o efeito do estresse hídrico, sendo semelhante a irrigação plena (Figura 13C). Aos 120 DAS (Tabela 6), apenas o tratamento EA E VF diferiu do controle absoluto, tendo maior número de folhas (7,0). Isso pode ter ocorrido pelo fato de que, a aplicação exógena de piruvato nas fases de florescimento e vegetativa mais florescimento tenha proporcionado maior energia para as plantas, favorecendo assim, a maior emissão de folhas.

Para massa seca das folhas, apenas o tratamento EP E VF diferiu estatisticamente do controle absoluto, com menor desempenho (Tabela 6). Após terem sido submetidas ao estresse hídrico nas duas fases consecutivas, as plantas emitiram novas folhas, por serem novas e por sua vez, pequenas, houve menor massa seca das folhas. Foi constatado ainda que, a suplementação com piruvato de cálcio influenciou positivamente à altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), massa seca do caule (MSC) e massa seca da parte aérea (MSPA) nas plantas submetidas ao estresse hídrico, não diferindo do controle absoluto. Essa recuperação, pode ter ocorrido em virtude de que, a suplementação com piruvato de cálcio tende a suplementar uma eventual falta do ácido pirúvico no ciclo de Krebs levando a um melhor funcionamento das células, disponibilizando mais energia.

Tabela 6. Teste de Dunnett para altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato variando a fase fenológica, aos 120 DAS.

Tratamentos	AP	NF	DC	MSF	MSC	MSPA
EP E V	75,33 ^{ns}	5,76 ^{ns}	11,96 ^{ns}	0,32 ^{ns}	24,38 ^{ns}	0,17 ^{ns}
EP E F	74,17 ^{ns}	6,59 ^{ns}	11,70 ^{ns}	0,27 ^{ns}	27,66 ^{ns}	0,16 ^{ns}
EP E VF	77,00 ^{ns}	6,69 ^{ns}	10,97 ^{ns}	0,19 [*]	25,36 ^{ns}	0,14 ^{ns}
EP SE V	88,33 ^{ns}	5,53 ^{ns}	12,27 ^{ns}	0,31 ^{ns}	29,41 ^{ns}	0,16 ^{ns}
EP SE F	86,00 ^{ns}	4,88 ^{ns}	11,43 ^{ns}	0,31 ^{ns}	26,64 ^{ns}	0,16 ^{ns}
EP SE VF	87,33 ^{ns}	4,83 ^{ns}	11,67 ^{ns}	0,31 ^{ns}	27,12 ^{ns}	0,17 ^{ns}
EA E V	82,33 ^{ns}	5,85 ^{ns}	11,13 ^{ns}	0,29 ^{ns}	24,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}
EA E F	77,00 ^{ns}	6,93 ^{ns}	11,00 ^{ns}	0,23 ^{ns}	25,30 ^{ns}	0,16 ^{ns}
EA E VF	78,00 ^{ns}	7,08 [*]	12,00 ^{ns}	0,24 ^{ns}	22,70 ^{ns}	0,16 ^{ns}
EA SE V	82,67 ^{ns}	4,61 ^{ns}	12,47 ^{ns}	0,31 ^{ns}	28,31 ^{ns}	0,16 ^{ns}
EA SE F	87,67 ^{ns}	5,12 ^{ns}	11,70 ^{ns}	0,28 ^{ns}	28,49 ^{ns}	0,16 ^{ns}
EA SE VF	84,00 ^{ns}	5,59 ^{ns}	12,50 ^{ns}	0,33 ^{ns}	28,49 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Controle	84,67	5,37	11,80	0,31	26,31	0,17
Dms	11,01	1,43	1,57	0,09	8,08	14,55

EP- Pré-embebição em solução de piruvato de cálcio; EA- Pré-embebição em água destilada; E- Déficit hídrico; SE- Irrigado; Aplicação de piruvato de cálcio nas fases, vegetativa (V), florescimento (F) e vegetativo mais florescimento (VF). * e ^{ns} diferença significativa e não significativa entre o controle e os tratamentos do fatorial a 5% de probabilidade pelo teste de DUNNETT. NF - Os dados transformados em \sqrt{x} e MSF e MSPA - transformados em $1/\sqrt{x}$.

5.4 Fisiologia

5.4.1 Trocas gasosas aos 25 e 26 DAS

Ao final do estresse hídrico na fase vegetativa (25 DAS), houve interação significativa entre a pré-embebição de sementes e a disponibilidade hídrica (PE x DH) apenas para a transpiração (*E*). Quando estudado os fatores isolados, observa-se efeito significativo para a disponibilidade hídrica ao final do estresse hídrico sobre a condutância estomática (*g_s*), transpiração (*E*), fotossíntese (*A*), e eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*) de plantas de algodão (Tabela 7).

Não houve diferença significativa entre os fatores estudados, 32 horas após a reidratação (26 DAS), ou seja, houve recuperação das plantas após terem sido submetidos por um período de exposição ao estresse hídrico. Isso pode ser justificado pelo fato de que a reidratação aumenta a turgescência das células, assim, as folhas readquirem a forma normal, reabrindo os estômatos, conseqüentemente, retomando o processo de crescimento.

Tabela 7. Resumo das análises de variância para taxa de assimilação de CO₂ (*A*), concentração interna de CO₂ (*Ci*), transpiração (*E*), condutância estomática (*gs*) e eficiência instantânea da carboxilação (*EiC*) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico e suplementação de piruvato, aos 25 e 26 DAS.

F. de variação	GL	Quadrados médios				
		Final do estresse hídrico (25 DAS)				
		<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>Ci</i>	<i>EiC</i>
Pré-emb. (PE)	1	0,000 ^{ns}	0,000 ^{ns}	1,755 ^{ns}	705,333 ^{ns}	0,00050 ^{ns}
D. hídrica (DH)	1	0,046 ^{**}	4,271 ^{**}	250,344 ^{**}	133,333 ^{ns}	0,00714 ^{**}
Int. PE x DH	1	0,001 ^{ns}	0,132 [*]	5,978 ^{ns}	12,000 ^{ns}	0,00026 ^{ns}
Fatorial x Test	1	0,005 ^{**}	0,560 ^{**}	36,895 ^{ns}	21,600 ^{ns}	0,00239 ^{ns}
Tratamentos	4	0,013 ^{**}	1,241 ^{**}	73,743 ^{**}	218,066 ^{ns}	0,00257 [*]
Blocos	2	0,000 ^{ns}	0,792 [*]	7,743 ^{ns}	3865,266 [*]	0,00250 ^{ns}
Resíduo	8	0,000	0,132	4,430	495,016	0,00058
Total	14	-	-	-	-	-
CV (%)	-	10,62	5,27	12,92	12,73	24,70
32 horas após a reidratação (26 DAS)						
Pré-emb. (PE)	1	0,001 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,594 ^{ns}	616,333 ^{ns}	0,00001 ^{ns}
D. hídrica (DH)	1	0,000 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,676 ^{ns}	12,000 ^{ns}	0,00001 ^{ns}
Int. PE x DH	1	0,000 ^{ns}	0,041 ^{ns}	8,350 ^{ns}	363,000 ^{ns}	0,00024 ^{ns}
Fatorial x Test	1	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,395 ^{ns}	106,666 ^{ns}	0,00000 ^{ns}
Tratamentos	4	0,001 ^{ns}	0,021 ^{ns}	2,504 ^{ns}	274,500 ^{ns}	0,00006 ^{ns}
Blocos	2	0,009 ^{**}	0,151 ^{ns}	16,618 [*]	1110,200 [*]	0,00011 ^{ns}
Resíduo	8	0,001	0,065	3,189	136,450	0,00007
Total	14	-	-	-	-	-
CV (%)	-	16,68	10,34	15,99	4,89	18,21

* e ** - Significativo às 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} - não significativo às 5% de probabilidade.
CV - Coeficiente de variação

Ao final do período de estresse hídrico (25 DAS), a taxa de assimilação de CO₂ (*A*) (Figura 14C) das plantas de algodão sob déficit hídrico foi reduzida 45,4%, quando relacionado com as plantas cultivadas sob irrigação plena. Esse decréscimo, deveu-se a diminuição acentuada da condutância estomática, transpiração (*E*) e a eficiência instantânea de carboxilação (Figura 14A, B e D). O fechamento estomático leva ao decréscimo na transpiração, conseqüentemente, o aumento na concentração intercelular de CO₂ (*Ci*), limitando a eficiência de carboxilação da rubisco (BOSCO et al., 2009; CARMO-SILVA et al., 2012).

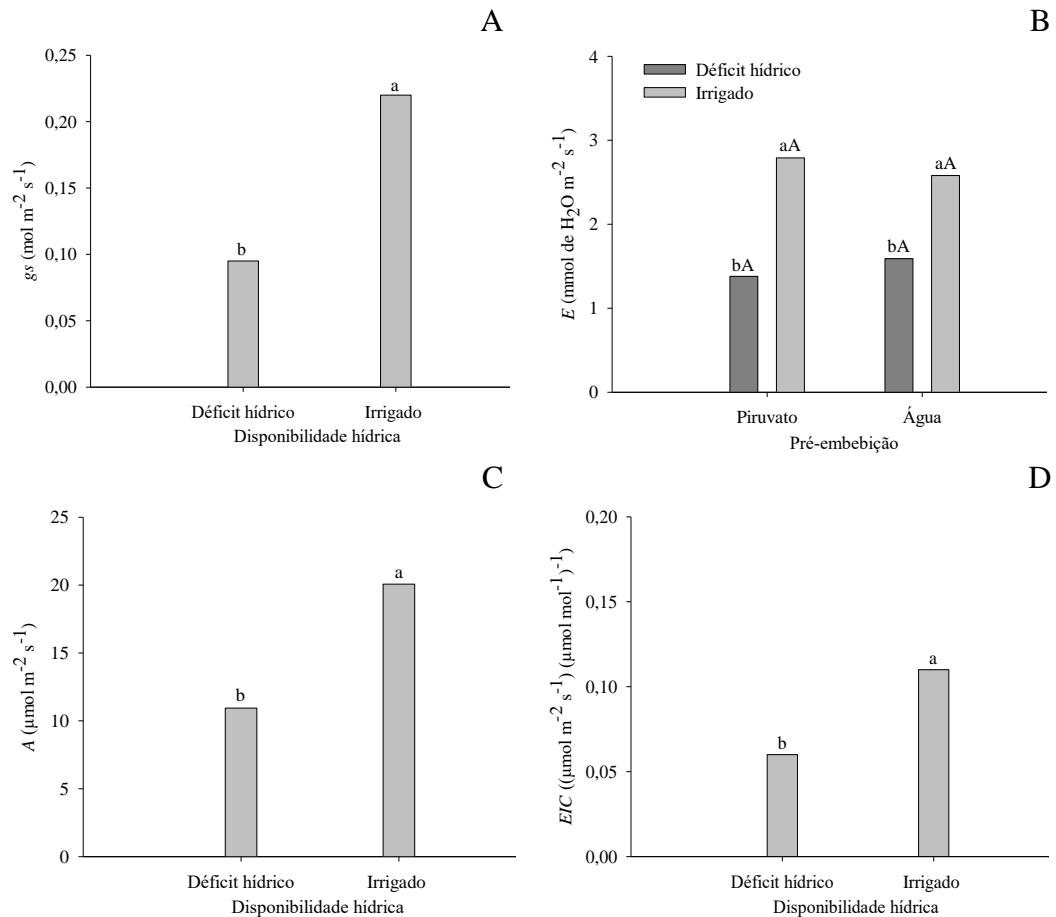


Figura 14. (A) condutância estomática (g_s), (C) taxa de assimilação de CO_2 (A) e (D) eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, sob disponibilidade hídrica. Em 14B: desdobramento da interação PE x DH para a transpiração de plantas de algodoeiro, aos 25 DAS. Letras minúsculas iguais entre disponibilidade hídrica e letras maiúsculas iguais para pré-embebição não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

Diante de tais resultados, evidencia-se, assim, que efeitos do estresse hídrico sobre a condutância estomática foram bem expressivos, uma vez que, com o fechamento estomático, a condutância é reduzida, afetando a taxa de assimilação de CO_2 . Lou et al. (2016), ao avaliarem os efeitos do estresse hídrico em plantas de algodão, também observaram que a fotossíntese reduziu significativamente, em função do estresse hídrico.

O mecanismo do fechamento dos estômatos no intuito de restringir a perda de água por transpiração, pode ser considerado uma estratégia adaptativa. Estômatos abertos possibilitam a absorção e saída de gás carbônico e ao fecharem, economizam água e restringem o risco de desidratação.

Ao final do estresse hídrico (25 DAS), quando comparado o tratamento controle com os tratamentos do fatorial, houve diferença significativa do controle absoluto em relação aos tratamentos submetidos ao estresse hídrico (EP E V e EA E V), com reduções de 55,0 e 50,0% na condutância estomática (g_s), 46,3 e 38,1% para a transpiração, respectivamente. A redução

observada na condutância estomática (g_s) e transpiração (E) afetou a taxa de assimilação (A), reduzindo-a 49,3 e 38,1% em relação ao controle absoluto. Isso ocorreu porque esses fatores estão intimamente relacionados (Tabela 8).

Ao avaliar a eficiência instantânea da carboxilação ao final do estresse hídrico (25 DAS), é possível observar que as plantas submetidas ao tratamento EP E V, obtiveram redução na EiC com taxa de 0,05 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$], correspondendo a 58,3% em relação ao tratamento controle absoluto (0,12 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$]) (Tabela 8).

Tabela 8. Teste de Dunnett para condutância estomática (g_s), transpiração (E), taxa de assimilação de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (C_i) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, cultivadas sob estresse hídrico e suplementação de piruvato, aos 25 e 26 DAS.

Tratamentos	Final do estresse hídrico (25 DAS)				
	g_s	E	A	C_i	EiC
EP E V	0,09 *	1,38 *	9,85 *	180,67 ^{ns}	0,05 *
EP SE V	0,24 ^{ns}	2,79 ^{ns}	20,40 ^{ns}	185,33 ^{ns}	0,11 ^{ns}
EA E V	0,10 *	1,59 *	12,03 *	163,33 ^{ns}	0,08 ^{ns}
EA SE V	0,20 ^{ns}	2,58 ^{ns}	19,75 ^{ns}	172,00 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Controle	0,20	2,57	19,43	172,33	0,12
Dms	0,04	0,28	5,19	54,86	0,06
32 horas após a reidratação (26 DAS)					
EP E V	0,17 ^{ns}	2,61 ^{ns}	12,54 ^{ns}	243,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}
EP SE V	0,16 ^{ns}	2,43 ^{ns}	10,40 ^{ns}	252,00 ^{ns}	0,04 ^{ns}
EA E V	0,14 ^{ns}	2,39 ^{ns}	10,43 ^{ns}	239,67 ^{ns}	0,04 ^{ns}
EA SE V	0,15 ^{ns}	2,45 ^{ns}	11,62 ^{ns}	226,67 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Controle	0,14	2,49	10,48	233,67	0,05
Dms	0,06	0,63	4,40	28,80	0,02

EP- Pré-embebição em solução de piruvato de cálcio; EA- Pré-embebição em água destilada; E- Déficit hídrico; SE- Irrigado; Aplicação de piruvato de cálcio na fase vegetativa (V). * e^{ns} diferença significativa e não significativa entre o controle e os tratamentos do fatorial a 5% de probabilidade pelo teste de DUNNETT.

Não houve diferença significativa do controle absoluto em relação aos demais tratamentos sobre os parâmetros fisiológicos, aos 26 DAS (Tabela 8). Lou et al. (2016), ao estudarem os efeitos do estresse hídrico em plantas de algodão, concluíram que após a reidratação a fotossíntese se igualou ao nível da testemunha. Corroborando com os dados neste estudo, onde o déficit hídrico seguido de reidratação, as plantas recuperaram a capacidade estomática, aumentando a capacidade fotossintética e assim, permitindo a entrada e estocagem de CO_2 .

5.4.2 Trocas gasosas aos 55 e 56 DAS

Aos 55 DAS, no último dia de estresse hídrico na fase de florescimento, verificou-se interação significativa entre os três fatores em estudo (pré-embebição x disponibilidade hídrica

x fases fenológicas) sobre a concentração interna de carbono (C_i) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC) (Tabela 9).

Para a transpiração (E), nota-se efeito significativo entre a pré-embebição x fases fenológicas (PE x F) e disponibilidade hídrica x fases fenológicas (DH x F) (Tabela 9).

Verifica-se interação significativa entre pré-embebição x disponibilidade hídrica (PE x DH) sobre a taxa de assimilação de CO_2 , e disponibilidade hídrica x fases fenológicas (DH x F) sobre a taxa de assimilação de CO_2 e condutância estomática (gs) (Tabela 9).

Aos 56 DAS, constatou-se interação significativa entre os três fatores estudados sobre as trocas gasosas, exceto a taxa de assimilação de CO_2 (A), que foi registrado interação significativa entre pré-embebição x disponibilidade hídrica (PE x DH), pré-embebição x fases fenológicas (PE x F) e disponibilidade hídrica x fases fenológicas (DH x F) (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância para condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO₂ (*A*), concentração interna de CO₂ (*Ci*) e eficiência instantânea da carboxilação (*EiC*) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, submetidas ao estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato, aos 55 e 56 DAS.

F. de variação	GL	Quadrados médios				
		Final do estresse hídrico (55 DAS)				
		<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>Ci</i>	<i>EiC</i>
Pré-emb. (PE)	1	0,0001 ^{ns}	0,050 ^{ns}	5,51 [*]	10370,02 ^{**}	0,0000 ^{ns}
D. hídrica (DH)	1	0,0156 ^{**}	13,189 ^{**}	149,04 ^{**}	157476,69 ^{**}	0,0027 ^{**}
Fases (F)	2	0,0078 ^{**}	3,606 ^{**}	117,11 ^{**}	59366,02 ^{**}	0,0054 ^{**}
Int. PE x DH	1	0,0000 ^{ns}	0,013 ^{ns}	14,93 ^{**}	3741,36 ^{**}	0,0014 ^{**}
Int. PE x F	2	0,0000 ^{ns}	0,572 ^{**}	0,51 ^{ns}	5852,69 ^{**}	0,0001 [*]
Int. DH x F	2	0,0110 ^{**}	10,304 ^{**}	168,46 ^{**}	62976,69 ^{**}	0,0077 ^{**}
Int. PE x DH x F	2	0,0002 ^{ns}	0,191 ^{ns}	3,21 ^{ns}	5865,02 ^{**}	0,0004 ^{**}
Fatorial x Test	1	0,0031 ^{**}	2,459 ^{**}	0,41 ^{ns}	40191,38 ^{**}	0,0005 ^{**}
Tratamentos	12	0,0047 ^{**}	3,755 ^{**}	62,37 ^{**}	39991,69 ^{**}	0,0027 ^{**}
Blocos	2	0,0017 [*]	0,549 ^{**}	2,00 ^{ns}	64,79 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Resíduo	24	0,0003	0,082	1,141	461,26	0,0001
Total	38	-	-	-	-	-
CV (%)	-	29,96	16,07	17,31	8,90	15,96
32 horas após a reidratação (56 DAS)						
Pré-emb. (PE)	1	0,0008 ^{ns}	0,001 ^{ns}	16,864 ^{**}	469,44 ^{ns}	0,0001 [*]
D. hídrica (DH)	1	0,0506 ^{**}	6,899 ^{**}	185,864 ^{**}	1,00 ^{ns}	0,0020 ^{**}
Fases (F)	2	0,0084 ^{**}	1,466 ^{**}	126,107 ^{**}	14727,58 ^{**}	0,0055 ^{**}
Int. PE x DH	1	0,0006 ^{ns}	0,700 ^{ns}	16,160 ^{**}	1849,00 ^{**}	0,0010 ^{**}
Int. PE x F	2	0,0001 ^{ns}	0,357 ^{ns}	7,187 ^{**}	1480,19 ^{**}	0,0004 ^{**}
Int. DH x F	2	0,0111 ^{**}	1,331 ^{**}	91,235 ^{**}	3670,08 ^{**}	0,0023 ^{**}
Int. PE x DH x F	2	0,0017 [*]	1,545 ^{**}	1,665 ^{ns}	1318,58 ^{**}	0,0001 [*]
Fatorial x Test	1	0,0007 ^{ns}	0,324 ^{ns}	14,635 ^{**}	7729,92 ^{**}	0,0011 ^{**}
Tratamentos	12	0,0079 ^{**}	1,443 ^{**}	57,159 ^{**}	4370,18 ^{**}	0,0017 ^{**}
Blocos	2	0,0008 ^{ns}	0,254 ^{ns}	1,469 ^{ns}	148,98 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
Resíduo	24	0,0004	0,200	1,106	118,22	0,0000
Total	38	-	-	-	-	-
CV (%)	-	19,96	18,88	12,96	4,80	13,18

* e ** - Significativo às 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} - não significativo às 5% de probabilidade. CV- Coeficiente de variação.

Quando realizado o desdobramento da interação pré-embebição x disponibilidade hídrica (PE x DH), sobre a transpiração e a taxa de assimilação de CO₂ das plantas de algodão (Figura 15B e D), percebeu-se que não houve influência entre as formas de pré-embebição, porém, a transpiração e a taxa de assimilação de CO₂ foram reduzidas em função do déficit hídrico (Figura 15B e D).

As plantas na fase vegetativa não foram influenciadas pela deficiência de água no solo, porém nas fases de florescimento (V) e vegetativa mais florescimento (VF), houve decréscimo na taxa fotossintética de 97,1 e 98,9%, respectivamente, quando as plantas foram submetidas ao estresse hídrico em relação as plantas cultivadas sob irrigação plena (Figura 15E).

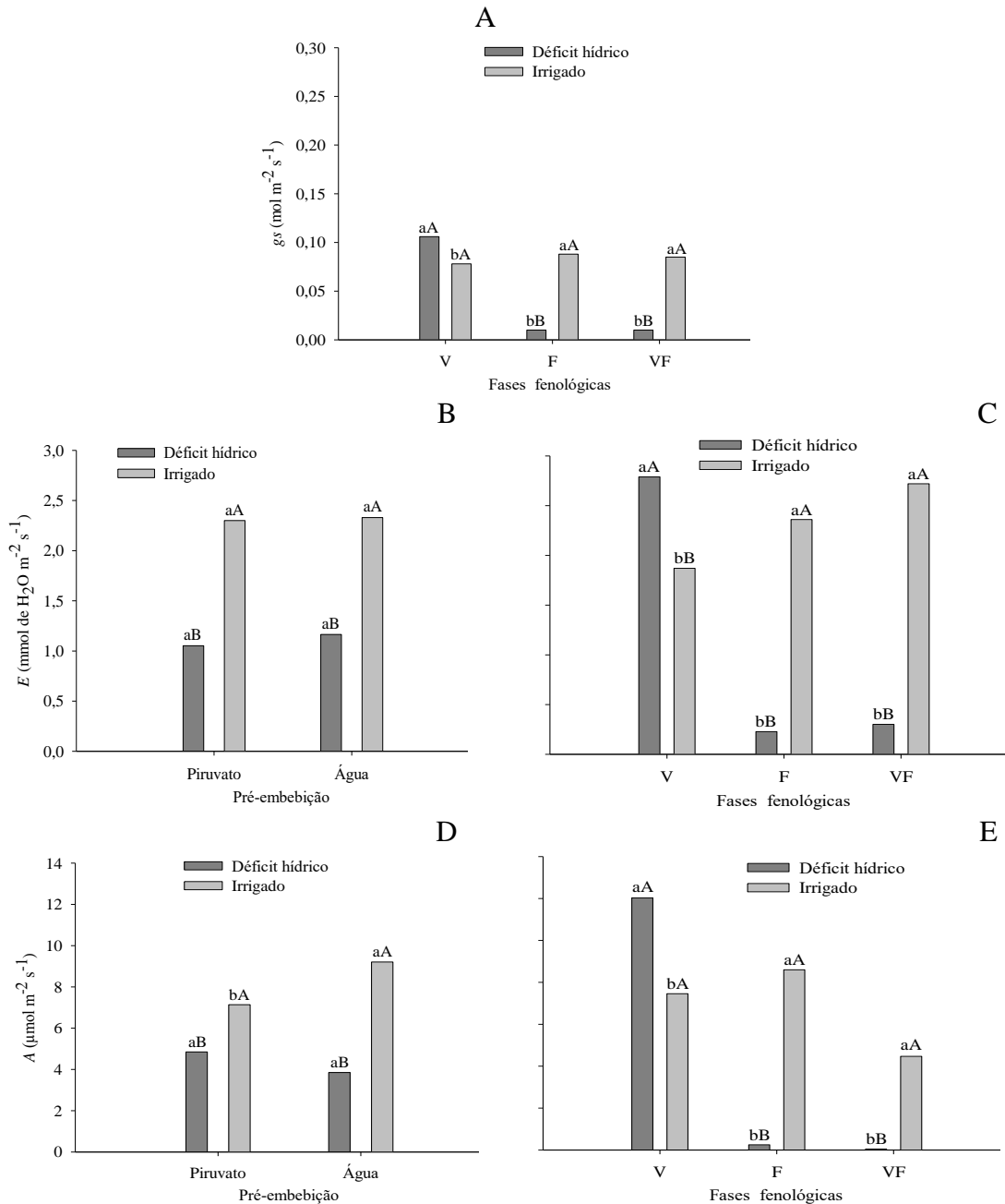


Figura 15. Desdobramento da interação DH x F para condutância estomática (g_s) (A), transpiração (E) (C) e taxa de assimilação de CO_2 (A) (E). Em 15B e D: desdobramento da interação PE x DH para transpiração e taxa de assimilação de CO_2 de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, aos 55 DAS. (A, C e E) Letras minúsculas iguais para disponibilidade hídrica e maiúsculas entre fases fenológicas não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). (B e D) letras minúsculas entre pré-embrição e maiúsculas entre disponibilidade hídrica não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

O decréscimo na fotossíntese nas fases florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF) (Figura 15E), decorreu da redução acentuada na condutância estomática e da transpiração (E) em tais fases (Figura 15A e C), evidenciando que fatores de ordem estomática atuam sobre as atividades de trocas gasosas das plantas de algodoeiro, quando submetidos ao estresse hídrico. Uma vez que, os parâmetros fisiológicos são dependentes da

abertura estomática, conseqüentemente, necessita da disponibilidade de água no solo (TAIZ et al., 2017). Segundo Yeates (2014), uma menor taxa fotossintética pode interromper o desenvolvimento dos frutos, atrasar o desenvolvimento das posições frutíferas, além disso, uma planta estressada pode encerrar o crescimento mais precoce que uma planta sem estresse.

Mantendo as tendências observadas sobre a condutância estomática, transpiração e fotossíntese (Figura 15A, C e E), as plantas em estresse hídrico na fase vegetativa não foram afetadas pela deficiência de água no solo. Pode-se notar que, quando a fotossíntese aumentou (Figura 15A), houve redução na C_i (Figura 16A), como consequência do fluxo de carbono para a síntese de compostos orgânicos, o que promoveu maior eficiência instantânea de carboxilação (EiC).

De forma contrária, nas plantas submetidas ao estresse hídrico nas fases florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF) houve elevação na concentração interna de CO_2 (C_i), e com isso, redução na eficiência instantânea de carboxilação (EiC) (Figura 16A e B). Tal redução na EiC , pode estar relacionado ao maior C_i nas plantas. É provável que este fato seja reflexo da baixa assimilação de CO_2 , em relação ao CO_2 encontrado na câmara subestomática nestas plantas, pois é explicado que, se C_i aumenta e há diminuição no consumo de CO_2 nos cloroplastos, devido à redução na atividade fotossintética, à relação A/C_i também sofrerá redução (SUASSUNA, 2014).

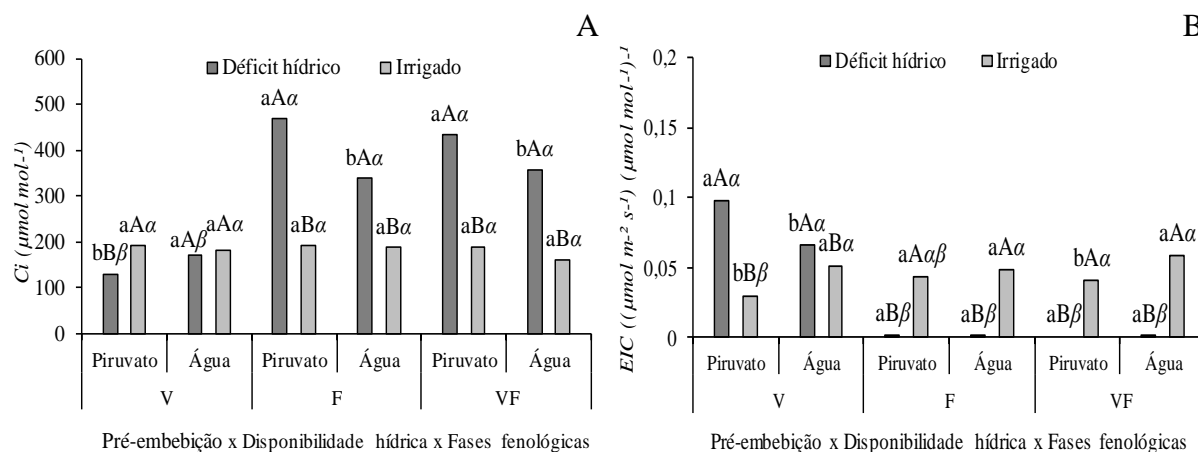


Figura 16. Concentração interna de CO_2 (C_i) (A) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, correspondente a interação PE x DH x F, aos 55 DAS. Letras minúsculas iguais entre pré-embebição e letras maiúsculas iguais para disponibilidade hídrica não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Símbolos (α e β) entre fases fenológicas não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

A taxa de assimilação de CO₂ aos 56 DAS (Figura 17A) nas plantas reidratadas, provenientes da pré-embebição, continuou reduzida em função da deficiência hídrica. Nota-se ainda que, não houve influência entre as formas de pré-embebição das sementes.

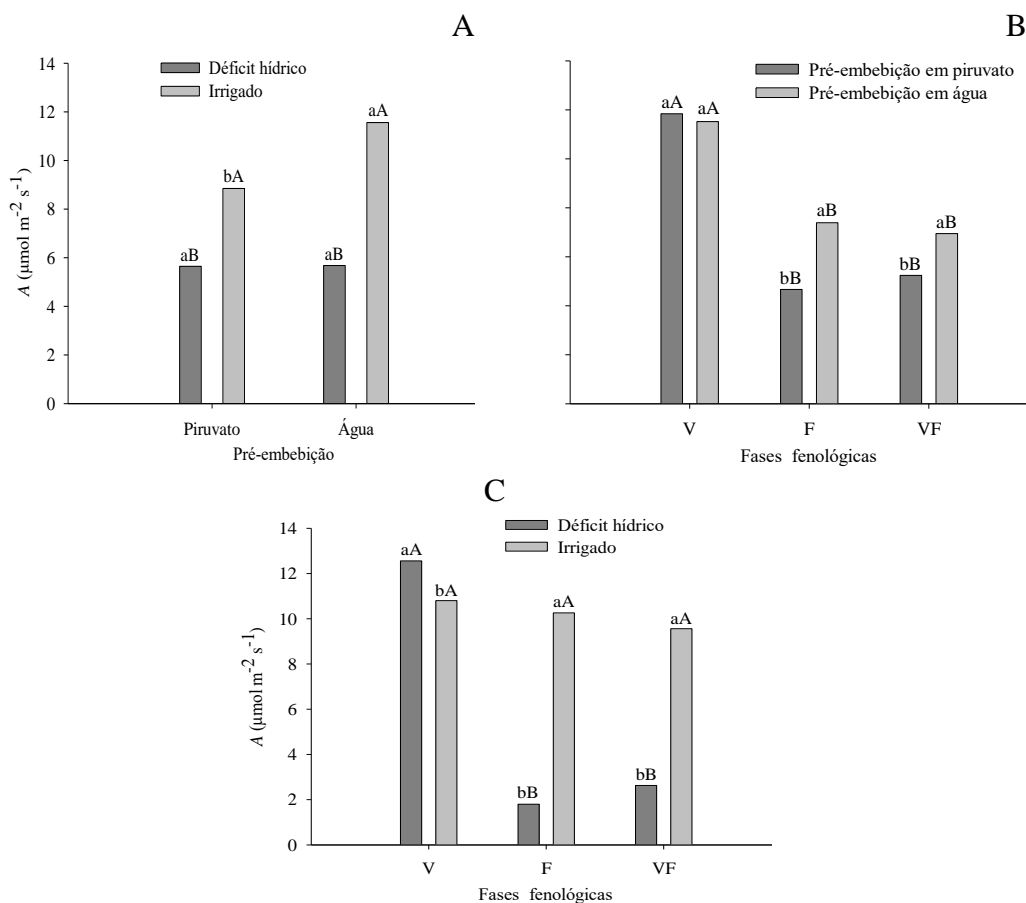


Figura 17. Desdobramento da interação PE x DH (A), PE x F (B) e DH x F (C) para taxa de assimilação de CO₂ (A) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, aos 56 DAS. (A) Letras minúsculas iguais não diferem entre pré-embebição e maiúsculas para disponibilidade hídrica. (B) Letras minúsculas entre pré-embebição e maiúsculas entre fases fenológicas não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). (C) Letras minúsculas iguais entre disponibilidade hídrica e maiúsculas para fases fenológicas não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

Na interação pré-embebição x fases fenológicas (PE x E) (Figura 17B), observa-se que a suplementação com piruvato na fase vegetativa (V) estimulou a taxa fotossintética nas plantas oriundas da pré-embebição em solução de piruvato e em água destilada. Em contrapartida, na fase de florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), a pré-embebição em água destilada proporcionou maior aumento da fotossíntese, em relação a pré-embebição em solução de piruvato de cálcio.

Ao analisar interação disponibilidade hídrica x fases fenológicas (DH x F) (Figura 17C), é visto que a taxa de assimilação de CO₂ nas fases fenológicas de florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF) foi estatisticamente inferior a fase vegetativa (V). Um dos possíveis

motivos das plantas nas fases F e VF não terem recuperado a capacidade fotossintética, pode ter sido a danificação do aparato, pois Ennahli e Earl (2005), em experimento com algodoeiro, baixaram gradativamente a umidade do solo de 75 para 5% em oito dias e, em seguida, elevaram a umidade do mesmo solo para 75% por dois dias, e identificaram perdas na eficiência do fotossistema II, atribuindo o fato, à perda da função fotossintética dos cloroplastos. Trabalhando com estresse hídrico em algodão, Lou et al. (2016) afirma que a capacidade das plantas para recuperar a atividade fotossintética depende do grau de severidade do estresse.

Com relação a análise realizada 32 horas após a reidratação (56 DAS), observa-se que as trocas gasosas foram influenciadas pelos fatores estudados (Figura 18A, B, C e D). As plantas oriundas da pré-embebição das sementes em solução piruvato de cálcio ao serem submetidas ao déficit hídrico na fase vegetativa (V), aumentaram a abertura estomática, transpiração, refletindo na eficiência instantânea de carboxilação (Figura 18D). Esse comportamento ocorreu em virtude da diminuição da concentração interna de CO₂ estocado na célula estomática.

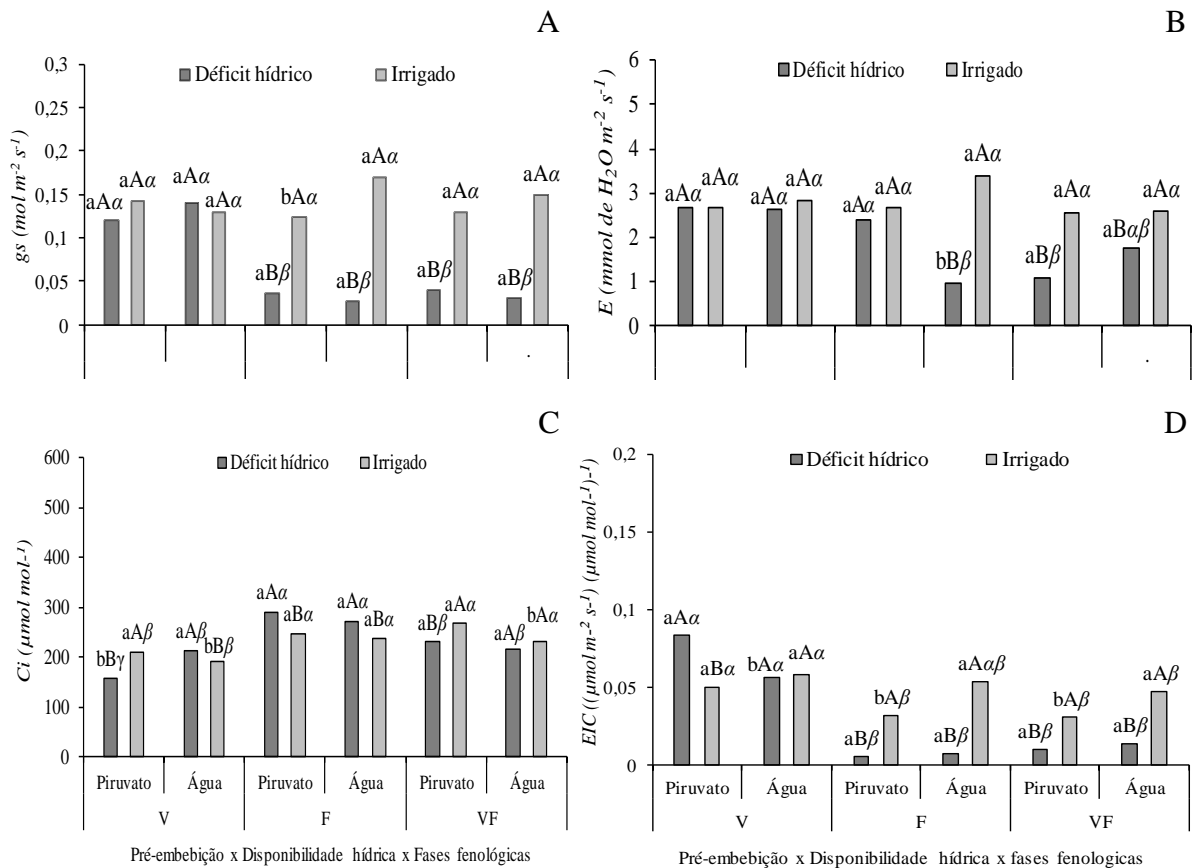


Figura 18. Condutância estomática (A), transpiração (B), concentração interna de CO₂ (Ci) (C) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) (D) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, correspondente a interação PE x DH x F aos 56 DAS. Letras minúsculas iguais entre pré-embebição e letras maiúsculas iguais para disponibilidade hídrica não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Símbolos (α e β) entre fases fenológicas não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

Nas fases seguintes, tem-se comportamento contrário, à medida que a concentração interna de CO₂ aumenta, a condutância estomática e a transpiração diminuem (Figura 18A, B e C). Esse comportamento é reflexo do aparato de ajustamento celular, que ao ser submetida a algum estresse a planta tende a fechar seus estômatos com o intuito de evitar a perda de água.

De acordo com o teste de Dunnett (Tabela 10), aos 55 DAS não houve diferença significativa dos tratamentos em que as plantas foram submetidas ao estresse hídrico e suplementadas com piruvato na fase vegetativa, quando comparadas as plantas controle sobre a condutância estomática e a transpiração, mas, constatou-se as maiores médias sobre a fotossíntese (12,74 e 11,34 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente) em relação ao controle absoluto (6,53 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Isso pode ter ocorrido pelo fato de que a suplementação com piruvato de cálcio tenha proporcionado maior energia às plantas, tornando-as mais tolerantes ao estresse hídrico (Tabela 10).

Nas fases florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), tem-se redução na condutância estomática (g_s) e transpiração (E), conseqüentemente, aumento na concentração interna de CO₂ (C_i) das plantas submetidas ao déficit hídrico e suplementadas com piruvato de cálcio, diferindo do controle absoluto. Em decorrência do comportamento desses parâmetros, as plantas foram menos eficientes na utilização do carbono, quando relacionada com o controle absoluto. Diante de tais resultados, pode-se afirmar que o déficit hídrico nas fases florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), mesmo com a aplicação de piruvato de cálcio interfere negativamente nas trocas gasosas da cv. BRS Jade.

Em relação a capacidade de recuperação das plantas (56 DAS) (Tabela 10), após serem reidratadas, observa-se o mesmo comportamento das trocas gasosas ao final do déficit hídrico, porém a condutância aumentou de 0,01 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (final do estresse) para 0,04 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (32 h após a reidratação), ou seja, ao serem reidratadas, as plantas recuperam a capacidade estomática, aumentando a fotossíntese novamente, permitindo a entrada e estocagem de CO₂.

Tabela 10. Teste de Dunnett para condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO₂ (*A*), concentração interna de CO₂ (*Ci*) e eficiência instantânea de carboxilação (*EiC*) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, cultivadas sob estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato, aos 55 e 56 DAS.

Tratamentos	Final do estresse hídrico (55 DAS)				
	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>Ci</i>	<i>EiC</i>
EP E V	0,10 ^{ns}	2,64 ^{ns}	12,74 [*]	131,00 ^{ns}	0,09 [*]
EP E F	0,01 [*]	0,19 [*]	0,33 [*]	467,67 [*]	0,01 [*]
EP E VF	0,01 [*]	0,33 [*]	0,01 [*]	432,67 [*]	0,01 [*]
EP SE V	0,08 ^{ns}	1,47 [*]	5,70 ^{ns}	191,67 [*]	0,02 [*]
EP SE F	0,08 ^{ns}	2,44 ^{ns}	8,21 ^{ns}	191,67 [*]	0,04 ^{ns}
EP SE VF	0,08 ^{ns}	2,99 ^{ns}	7,51 ^{ns}	190,00 [*]	0,04 ^{ns}
EA E V	0,11 ^{ns}	2,95 ^{ns}	11,34 [*]	173,00 ^{ns}	0,06 ^{ns}
EA E F	0,01 [*]	0,27 [*]	0,16 [*]	338,67 [*]	0,01 [*]
EA E VF	0,01 [*]	0,28 [*]	0,06 [*]	356,67 [*]	0,01 [*]
EA SE V	0,07 ^{ns}	2,27 ^{ns}	9,21 [*]	182,33 ^{ns}	0,05 ^{ns}
EA SE F	0,09 ^{ns}	2,29 ^{ns}	8,99 ^{ns}	187,67 [*]	0,04 ^{ns}
EA SE VF	0,09 ^{ns}	2,45 ^{ns}	9,42 [*]	162,67 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Controle	0,09	2,66	6,53	130,00	0,05
Dms	0,05	0,70	2,62	52,61	0,01
32 horas após a reidratação (56 DAS)					
EP E V	0,12 ^{ns}	2,65 ^{ns}	13,13 [*]	157,33 ^{ns}	0,08 [*]
EP E F	0,04 [*]	2,39 ^{ns}	1,54 [*]	290,00 [*]	0,01 [*]
EP E VF	0,04 [*]	1,09 [*]	2,29 [*]	233,00 [*]	0,01 [*]
EP SE V	0,14 ^{ns}	2,67 ^{ns}	10,55 ^{ns}	210,33 [*]	0,05 ^{ns}
EP SE F	0,12 ^{ns}	2,67 ^{ns}	7,81 ^{ns}	247,00 [*]	0,03 [*]
EP SE VF	0,13 ^{ns}	2,57 ^{ns}	8,21 ^{ns}	267,00 [*]	0,03 [*]
EA E V	0,14 ^{ns}	2,62 ^{ns}	11,99 ^{ns}	212,33 [*]	0,05 ^{ns}
EA E F	0,03 [*]	0,96 [*]	2,07 [*]	273,00 [*]	0,01 [*]
EA E VF	0,03 [*]	1,45 ^{ns}	2,98 [*]	216,33 [*]	0,01 [*]
EA SE V	0,13 ^{ns}	2,83 ^{ns}	11,05 ^{ns}	190,33 ^{ns}	0,05 ^{ns}
EA SE F	0,17 ^{ns}	3,39 ^{ns}	12,72 ^{ns}	236,67 [*]	0,05 ^{ns}
EA SE VF	0,15 ^{ns}	2,58 ^{ns}	10,92 ^{ns}	232,67 [*]	0,04 ^{ns}
Controle	0,12	2,69	10,24	177,67	0,05
Dms	0,05	1,09	2,58	26,63	0,01

EP- Pré-embebição em solução de piruvato de cálcio; EA- Pré-embebição em água destilada; E- Déficit hídrico; SE- Irrigado; Aplicação de piruvato de cálcio nas fases, vegetativa (V), florescimento (F) e vegetativo mais florescimento (VF). * e ^{ns} diferença significativa e não significativa entre o controle e os tratamentos do fatorial a 5% de probabilidade pelo teste de DUNNETT.

5.5 Componentes de produção e eficiência do uso da água

Na Tabela 11, vê-se que não houve efeito da pré-embebição para número de capulhos (NC), massa de capulho completo (MCC), massa de um capulho (M1CAP), massa de pluma com sementes (MPCS) e eficiência do uso da água (EUA).

Para a interação disponibilidade hídrica x fases fenológicas (DH x F), verifica-se efeito significativo sobre NC, MCC, MPCS e EUA (Tabela 11).

Nota-se também interação significativa entre os fatores em estudos, pré-embebição de sementes x disponibilidade hídrica x fases fenológicas (PE x DH x F), apenas para a eficiência do uso da água. No fator disponibilidade hídrica (DH), percebe-se que o NC, MCC, MPCs, M1CAP e a EUA foram influenciados pelo déficit hídrico (Tabela 9).

Tabela 11. Resumo da análise de variância para as variáveis número de capulhos (NC), massa de capulho completo (MCC), massa de um capulho (M1CAP), massa de pluma com sementes (MPCs) e eficiência do uso da água (EUA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, cultivadas sob estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato.

F. de variação	GL	Quadrados médios				
		NC	MCC	MPCs	M1CAP	EUA
Pré-emb. (PE)	1	4,694 ^{ns}	3,351 ^{ns}	31,734 ^{ns}	0,944 ^{ns}	0,090 ^{ns}
D. hídrica (DH)	1	380,250 ^{**}	133,674 ^{**}	9478,969 ^{**}	24,810 ^{**}	3,170 ^{**}
Fases (F)	2	53,444 ^{**}	22,373 ^{**}	2102,978 [*]	5,814 ^{ns}	0,193 ^{**}
Int. PE x DH	1	0,250 ^{ns}	0,581 ^{ns}	233,886 ^{ns}	0,827 ^{ns}	0,434 ^{**}
Int. PE x F	2	2,111 ^{ns}	3,074 ^{ns}	261,529 ^{ns}	2,629 ^{ns}	0,148 ^{**}
Int. DH x F	2	73,000 ^{**}	15,885 ^{**}	1140,138 ^{**}	0,422 ^{ns}	1,299 ^{**}
Int. PE x DH x F	2	4,333 ^{ns}	0,764 ^{ns}	80,847 ^{ns}	0,562 ^{ns}	0,345 ^{**}
Fatorial x Test	1	0,258 ^{ns}	0,448 ^{ns}	5,666 ^{ns}	0,111 ^{ns}	0,101 ^{ns}
Tratamentos	12	54,269 ^{**}	18,521 ^{**}	1410,208 ^{**}	3,795 ^{ns}	0,647 ^{**}
Blocos	2	4,000 ^{ns}	0,704 ^{ns}	94,205 ^{ns}	2,248 ^{ns}	0,071 ^{ns}
Resíduo	24	3,833	1,107	81,210	2,844	0,026
Total	38	-	-	-	-	-
CV (%)	-	18,85	12,61	18,87	24,05	20,38

* e ** - Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} - não significativo a 5% de probabilidade. CV- Coeficiente de variação. Para MCC os dados foram transformados em \sqrt{X} .

Quando realizado o desdobramento da interação DH x F para NC (Figura 19A), não houve diferença significativa entre o tratamento irrigado e o déficit hídrico na fase vegetativa, porém, na fase de florescimento e vegetativa mais florescimento foi constatado reduções de 67,8 e 67,1% respectivamente, ao comparar as plantas com e sem estresse hídrico. Ao comparar a deficiência hídrica dentro das fases fenológicas, verifica-se reduções de 62,2 e 64,8%, respectivamente para fase de florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), quando comparadas com a fase vegetativa (V).

Similar ao número de capulhos, houve redução de 44,2 e 50,6% na massa de capulho completo (Figura 19B) e 62,3 e 73,4% para a massa de pluma com sementes (Figura 19C), quando comparado o déficit hídrico na fase florescimento e vegetativa mais florescimento, respectivamente em relação a fase vegetativa. Nota-se, ainda, que na fase vegetativa não houve diferença significativa entre os tratamentos déficit hídrico e irrigado. Entretanto, nas fases de florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF), ocorreram reduções de 73,3 e 77,1% para massa de capulho completo e 67,1 e 73,8% na massa de pluma com sementes, quando relacionadas as plantas com e sem déficit hídrico, respectivamente.

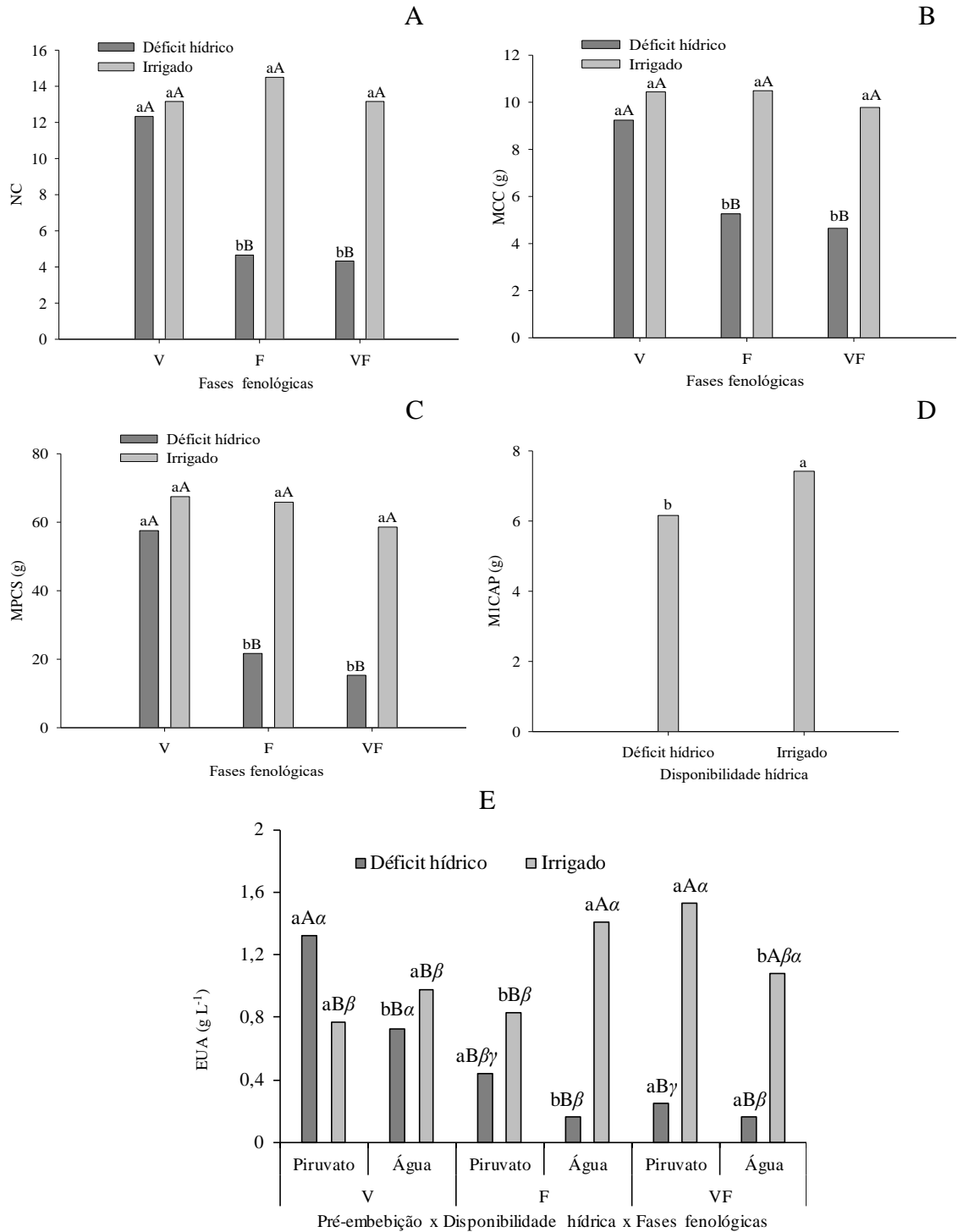


Figura 19. Desdobramento da interação DH x F para número de capulhos (NC) (A), massa de capulho completo (MCC) (B) e massa de pluma com sementes (MPCS) (C). (D) massa de um capulho (MICAP) do algodoeiro colorido “BRS Jade”, sob disponibilidade hídrica. Em 19E: eficiência do uso da água (EUA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, correspondente a interação PE x DH x F aos 120 DAS. Médias seguidas da mesma letra entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). (A, B e C) Letras minúsculas para disponibilidade hídrica e maiúsculas para fases fenológicas não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). (E) Letras minúsculas iguais entre pré-embrição e letras maiúsculas para disponibilidade não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Símbolos (α e β) entre fases fenológicas não diferem entre si pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$). Campina Grande, PB, 2019.

As plantas cultivadas sob irrigação plena, tiveram incremento de 21,22% na massa de um capulho (M1CAP), em relação as plantas submetidas ao estresse hídrico, diferindo estatisticamente entre si (Figura 19D).

Em relação as plantas oriundas da pré-embebição em solução de piruvato e submetidas ao estresse hídrico com suplementação de piruvato na fase vegetativa (V), observou-se maior eficiência do uso da água EUA ($1,31 \text{ g L}^{-1}$), em relação as plantas oriundas da pré-embebição em água destilada, cultivadas sob irrigação plena com suplementação de piruvato ($0,73 \text{ g L}^{-1}$), com incremento de 44,6% (Figura 19E).

Para as plantas oriundas da pré-embebição em solução de piruvato e submetidas ao estresse hídrico com suplementação de piruvato no florescimento (F), foi constatado EUA de $0,44 \text{ g L}^{-1}$. Nesta fase, a maior eficiência do uso da água foi obtida no tratamento da pré-embebição em água destilada, cultivadas sob irrigação plena com suplementação de piruvato ($1,41 \text{ g L}^{-1}$) (Figura 19E).

Não houve diferença significativa entre a pré-embebição em solução de piruvato e em água destilada na fase vegetativa mais florescimento (VF) (Figura 19E). Sendo as maiores eficiência do uso da água nas plantas oriundas da pré-embebição em solução de piruvato e em água destilada, cultivadas sob irrigação plena com suplementação de piruvato na fase vegetativa mais florescimento ($1,53$ e $1,08 \text{ g L}^{-1}$, respectivamente) (Figura 19E).

Apesar da umidade só solo nos tratamentos sob deficiência hídrica na fase vegetativa, encontrar-se abaixo do ponto de murcha (Figura 8A), foi registrado maior número de capulhos, massa de capulhos completo, massa de pluma com sementes e eficiência do uso da água quando comparado ao déficit na fase de florescimento (F) e vegetativa mais florescimento (VF). Assim, percebe-se que imposição do déficit hídrico na fase vegetativa, juntamente com a suplementação de piruvato, não é prejudicial ao algodoeiro. Entretanto, a imposição da deficiência de água no solo nas fases fenológicas florescimento e vegetativa mais florescimento, afeta a produção do algodoeiro.

Quando o teor de água do solo atinge o ponto de murcha, as plantas gastam energia e envidam esforços para preservar a água, o que pode levar ao aumento da temperatura das folhas (CARMO-SILVA et al., 2012) devido à redução da capacidade evaporativa, que também tem a função de resfriamento do dossel, afetando a atividade metabólica da planta, o que irá prejudicar no crescimento, desenvolvimento da planta e também na produção.

Essas reduções ocorrem pelo fato de que, a deficiência hídrica promove queda de botões florais, abortamento de flores e/ou queda de maçãs. Segundo Yeates (2014), o déficit hídrico reduz o fornecimento de carboidrato devido à menor taxa fotossintética, causando, assim, o

abortamento, por conta de a necessidade de acúmulo de carboidratos ser atingida mais rapidamente do que em uma planta não estressada.

Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com a literatura, onde o efeito do déficit hídrico nos estágios críticos do algodoeiro, como floração, formação e desenvolvimento das maçãs, reduz o número de maçãs mais novas, como um mecanismo de sobrevivência, a planta completará o desenvolvimento da semente e fibra em frutos mais velhos (BELTRÃO et al., 2001; YEATES, 2014).

Almeida et al. (2017), estudando o efeito de períodos de déficits hídricos, em diferentes fases fenológicas, sob os componentes de produção de cultivares de algodoeiro herbáceo, em experimento conduzido em casa de vegetação, concluíram que o déficit hídrico aplicado nas fases fenológicas do algodoeiro afetaram o número de capulhos por planta e a produtividade.

Zonta et al. (2017), ao avaliarem a resposta de cultivares de algodão sob déficit hídrico aplicado em diferentes estágios do ciclo da cultura, concluíram que o déficit hídrico causou maiores perdas no rendimento quando aplicado durante a primeira flor e na floração, devido à alta demanda de água nessas fases fenológicas.

Na Tabela 12, verifica-se que a suplementação de piruvato influenciou na atenuação do estresse hídrico para as variáveis NC, MCC, MPCS e M1CAP, visto que, os tratamentos EP E V, EA E V e EP E F não diferiram do controle absoluto.

Tabela 12. Teste de Dunnett para número de capulhos (NC), massa de capulho completo (MCC), massa de pluma com sementes (MPCS), massa de um capulho (M1CAP) e eficiência do uso da água (EUA) de plantas de algodão colorido “BRS Jade”, cultivadas sob estresse hídrico variando a fase fenológica e a suplementação de piruvato.

Tratamentos	NC	MCC	MPCS	M1CAP	EUA
EP E V	11,67 ^{ns}	9,02 ^{ns}	54,87 ^{ns}	7,05 ^{ns}	1,32 [*]
EP E F	6,00 ^{ns}	6,51 ^{ns}	31,67 ^{ns}	7,13 ^{ns}	0,44 ^{ns}
EP E VF	5,00 [*]	4,91 [*]	18,74 [*]	5,27 ^{ns}	0,25 ^{ns}
EP SE V	13,67 ^{ns}	10,30 ^{ns}	61,49 ^{ns}	7,80 ^{ns}	0,77 ^{ns}
EP SE F	14,67 ^{ns}	10,92 ^{ns}	64,87 ^{ns}	8,17 ^{ns}	0,83 ^{ns}
EP SE VF	13,33 ^{ns}	10,03 ^{ns}	60,72 ^{ns}	7,54 ^{ns}	1,53 [*]
EA E V	13,00 ^{ns}	9,46 ^{ns}	60,21 ^{ns}	6,98 ^{ns}	0,73 ^{ns}
EA E F	3,33 [*]	4,01 [*]	11,69 [*]	5,32 ^{ns}	0,16 [*]
EA E VF	3,67 [*]	4,38 [*]	12,18 [*]	5,26 ^{ns}	0,16 [*]
EA SE V	12,67 ^{ns}	10,57 ^{ns}	73,50 [*]	8,96 ^{ns}	0,98 ^{ns}
EA SE F	14,33 ^{ns}	10,08 ^{ns}	66,77 ^{ns}	7,34 ^{ns}	1,42 [*]
EA SE VF	13,00 ^{ns}	9,53 ^{ns}	56,47 ^{ns}	7,15 ^{ns}	1,09 [*]
Controle	10,67	8,71	46,31	7,19	0,61
Dms	4,79	2,58	21,14	4,13	0,39

EP- Pré-embebição em solução de piruvato de cálcio; EA- Pré-embebição em água destilada; E- Déficit hídrico; SE- Irrigado; Aplicação de piruvato de cálcio nas fases, vegetativa (V), florescimento (F) e vegetativo mais florescimento (VF). * e ^{ns} diferença significativa e não significativa entre o controle e os tratamentos do fatorial a 5% de probabilidade pelo teste de DUNNETT. Para MCC os dados foram transformados em \sqrt{X} .

Em áreas onde a água é fator limitante, como na região semiárida, maximizar a eficiência do uso da água é mais rentável economicamente para o produtor do que maximizar a produtividade (GEERTS e RAES, 2009). Portanto, observa-se que as plantas cultivadas sob o tratamento EP E V é eficaz ao produtor, pois, a eficiência do uso da água foi de $1,31 \text{ g L}^{-1}$. Ainda é possível notar que, os tratamentos EP E F, EP E VF, EA E V, não diferiram do controle absoluto (Tabela 10). Provavelmente, em função do acionamento do mecanismo de defesa (fechamento dos estômatos), diminui a condutância estomática e como consequência, redução na transpiração, que levam ao aumento da eficiência do uso da água (TAIZ et al., 2017).

Para as plantas cultivadas no tratamento EA SE VF, foi constatado eficiência do uso da água de $1,09 \text{ g L}^{-1}$, diferindo do controle absoluto ($0,61 \text{ g L}^{-1}$), enquanto que, nas plantas cultivadas nos tratamentos EP SE VF, EA SE F tiveram maiores médias (1,53 e 1,42 respectivamente) (Tabela 10). Estes resultados estão de acordo com os de Oweis et al. (2011), que alcançaram a maior eficiência do uso da água no tratamento totalmente irrigado quando comparado aos tratamentos com déficit hídrico.

6 CONCLUSÕES

A pré-embebição em piruvato ou em água aumenta a velocidade de emergência das sementes de algodoeiro, mas não se reflete na produção.

O estresse hídrico nas fases de florescimento e cumulativo nas duas fases (vegetativa mais florescimento) reduz as trocas gasosas das plantas de algodoeiro cv. BRS Jade.

O suprimento exógeno de piruvato, a partir do piruvato de cálcio, na concentração de 100 mM, atenua os efeitos do estresse hídrico na fase vegetativa, notadamente nas variáveis de crescimento, acúmulo de massa e produção, aumentando a massa de capulho completo, massa de pluma com semente e número de capulho das plantas de algodoeiro cv. BRS Jade.

A suplementação de piruvato de cálcio na pré-embebição de sementes e aplicação via foliar na fase vegetativa é eficaz em plantas de algodoeiro submetidas ao estresse hídrico e promove maior eficiência do uso da água ($1,32 \text{ g L}^{-1}$), podendo ser indicada ao produtor rural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPA - Associação brasileira de produtores de algodão. Números do algodão: o algodão no Brasil. Disponível em: <http://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodaono-brasil.aspx>. Acesso em 11 de outubro de 2019.

ALMEIDA, E. S. A. B.; PEREIRA, J. R.; AZEVEDO, C. A. V.; ARAÚJO, W. P.; ZONTA, J. H.; CORDÃO, M. A. Algodoeiro herbáceo submetido a déficit hídrico: Produção. **ACSA**, v.13, n.1, p.22-28, 2017.

ALVES, F. A. L.; CAVALCANTE, F. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, I. S.; FERRAZ, I.; SIQUEIRA, S. M. Competição de variedades de algodão herbáceo para cultivo no agreste pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.24, n.1, 2019.

ALVES, M. C. S.; MEDEIROS FILHO, S.; BEZERRA, A. M.; OLIVEIRA, V. C. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* Lam. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embrição. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.5, p.1083 - 1087, 2005.

AQUINO, L. A.; AQUINO, R. F. B. A.; SILVA, T. C.; SANTOS, D. F.; BERGER, P. G. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.355-361, 2012.

BARBOSA, J. L.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. D. P.; VELOSO, L. L. D. S.; SILVA, E. L. D.; GUEDES, M. A. Crescimento de algodoeiro colorido cv. BRS Topázio em solos com distintas salinidades e adubação orgânica. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.1, p.201-210, 2019.

BATISTA, C. H.; AQUINO L. A.; SILVA T. R.; SILVA, H. R. F. crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação, **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.4, p.197-206, 2010.

BELTRÃO, N. E. M. Fisiologia da produção do algodoeiro. Campina Grande: **Embrapa Algodão**, 2006. 8p (Embrapa Algodão. Circular técnica, 94).

BELTRÃO, N. E. M.; ALMEIDA, O. A.; PEREIRA, J. R.; FIDELES FILHO, J. Metodologia para estimativa do crescimento do fruto e do volume absoluto e relativo da planta do algodoeiro. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.5, n.1, p.283-289, 2001.

BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marron, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.625-632, 2010.

BHARGAVA, S.; SAWANT, K. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. **Plant Breeding**, v.32, n.1, p.21-32, 2013.

BORÉM, A.; FREIRE, E. C. **Algodão: do plantio a colheita**. Minas Gerais: UFV, 2014. 312p.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. Sistemas Reprodutivos das Espécies Cultivadas. In: **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2013. 57-63p.

BOSCO, M. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Ceres**, v.56, p.296-302. 2009.

CARDOSO, G. D.; ALVES, P. L. C. A.; BELTRÃO, N. E. M.; VALE, L. S. Períodos de interferência das plantas daninhas em algodoeiro de fibra colorida BRS Safira. **Ciência Agrônômica**, v.41, n.3, p.456-462, 2010.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v.25, n.1, p.183-188, 1995.

CARMO-SILVA, A. E.; GORE, M. A.; ANDRADE-SANCHEZ; P.; FRENCH, A. N.; HUNSAKER, D. J.; SALVUCCI, M. E. Decreased CO₂ availability and inactivation of Rubisco limit photosynthesis in cotton plants under heat and drought stress in the field. **Environmental and Experimental Botany**, v.83, p.1-11, 2012.

CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.9, n.17, p.969-985, 2013.

CHASTAIN, D. R.; SNIDER, J. L.; COLLINS, G. D.; PERRY, C. D.; WHITAKER, J.; BYRD, S. A. Water deficit in field-grown *Gossypium hirsutum* primarily limits net photosynthesis by decreasing stomatal conductance, increasing photorespiration, and increasing the ratio of dark respiration to gross photosynthesis. **Journal of Plant Physiology**, v.171, n.17, p.1576-1585, 2014.

COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna. 1982. 368p.

CONAB - Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Décimo levantamento, n.11, v.6, p. 1-113, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras> Acessado: 16/08/2019.

CORDÃO, M. A.; ARAÚJO, W. P.; PEREIRA, J. R.; ZONTA, J. H.; FERREIRA, F. N. Cultivares de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico aplicado em fases fenológicas. **Revista Verde**, v.13, n.3, p.313-321, 2018.

DANIEL, V. C.; SERVILHA, R. R.; SILVA, F. F.; ZONETTI, P. C. Germinação e crescimento de plântulas de algodão colorido sob condições de estresse salino. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.4, n.2, p.321-333, 2011.

ECHER, F. R.; OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; ROSOLEM, C. A. High night temperatures during the floral bud stage increase the abscission of reproductive structures in cotton. **Journal of agronomy and crop science**, v.200, n.3, p.191-198, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão. BRS JADE: nova cultivar de algodão colorido de dupla aptidão para o Cerrado Baiano e para o Semiárido Nordestino, 2017. Disponível: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/169961/1/BRS-Jade-nova-cultivar-de-algodao-colorido.pdf>. Acessado em: 22/08/2019.

ENNAHLI, S.; EARL, H. J. Physiological Limitations to Photosynthetic Carbon Assimilation in Cotton under Water Stress. **Crop Science**. v.45, n.6, p.2374-2382, 2005.

FARIAS, A. T. V. **Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em função de doses de silício e ácido salicílico**. Campina Grande: UEPB, 2012. 63p. Dissertação Mestrado.

FARIAS, F.; MORELLO, C. D. L.; PEDROSA, M.; SUASSUNA, N.; SILVA FILHO, J. L.; CARVALHO, L. P.; RIBEIRO, J. BRS JADE: nova cultivar de algodão colorido de dupla aptidão para o Cerrado Baiano e para o Semiárido Nordeste. In: **Embrapa Meio-Norte-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 11. 2017, Maceió. Inovação e rentabilidade da cotonicultura: livro de resumos. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2017.

FERNANDES-SILVA, A. A.; ÓPEZ-ERNAL, A.; FERREIRA, C.; VILLALOBOS, Leaf water relations and gas exchange response to water deficit of olive (cv. Cobrançosa) in field grown conditions. **Plant Soil**, v.402, n.1, p.191-209, 2016.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementes antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, v.3, n.1, p.67-77, 2015.

GADELHA, I. C. N.; FONSECA, N. B. S.; OLORIS, S. C. S.; MELO, M. M.; SOTO-BLANCO, B. Gossypol toxicity from cottonseed products. **The Scientific World Journal**, v.2014, p.1-11, 2014.

GARDNER, W.R., EHLING, C.F. The influence of soil water on transpiration by plants. **Journal of Geophysical Research**, v.68, p.5719-5724, 1963.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1275-1284, 2009.

GRIFFIN, K. L.; TURNBULL, M. H. Light saturated R_u or R_p oxygenation by Rubisco is a robust predictor of light inhibition of respiration in *Triticum aestivum* L. **Plant Biology**, v.15, n.4, p.769-775, 2013.

GRIMES, D. W.; CARTER, L. M. A linear rule for direct nondestructive leaf area measurements. **Agronomy Journal**, v.3, n.61, p.477-479, 1969.

HURRY, V.; TOBIAESON, M.; KRÖMER, S.; GARDESTRÖM, P.; ÖQUIST, G. Mitochondria contribute to increased photosynthetic capacity of leaves of winter rye (*Secale cereale* L.) following cold-hardening. **Plant, Cell and Environment**, v.18, n.1, p.69-76, 1995.

JACOBY, R. P.; LI, L.; HUANG, S.; PONG LEE, C.; MILLAR, A. H.; TAYLOR, N. L. Mitochondrial Composition, Function and Stress Response in Plants F. **Journal of integrative plant biology**, v.54, n.11, p.887-906, 2012.

JIMÉNEZ, S.; DRIDI, J.; GUTIÉRREZ, D.; MORET, D.; IRIGOYEN, J. J.; MORENO, M. A.; GOGORCENA, Y. Physiological, biochemical and molecular responses in four *Prunus rootstocks* submitted to drought stress. **Tree Physiology**, v.33, p.1061-1075, 2013.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. 452p.

- KOH-BANERJEE, P. K.; FERREIRA, M. P.; GREENWOOD, M.; BOWDEN, R. G.; COWAN, P. N.; ALMADA, A. L.; KREIDER, R. B. Effects of calcium pyruvate supplementation during training on body composition, exercise capacity, and metabolic responses to exercise. **Nutrition**, v.21, n.3, p.312-319, 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. **Bragantia**, v.64, n.3, p.339-347, 2005.
- LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington, D. C.: Secretaria Geral da OEA, 1983. 147p.
- LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.48, n.2, p.263-284, 1976.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 532p.
- LAWS, B. **50 plantas que mudaram o rumo da história**. Rio de Janeiro: Sextante, 2013. 224 p
- LI, C. L.; WANG, M.; MA, X. Y.; ZHANG, W. NRG1, a putative mitochondrial pyruvate carrier, mediates ABA regulation of guard cell ion channels and drought stress responses in *Arabidopsis*. **Molecular plant**, v.7, n.10, p.1508-1521, 2014.
- LIMA, R. F.; ARAÚJO, W. P.; PEREIRA, J. R., CORDÃO, M. A., FERREIRA, F. N.; ZONTA, J. H. Fibras de algodoeiro herbáceo sob déficit hídrico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.13, n.4, p.427-436, 2018.
- LUO, H. H.; ZHANG, Y. L.; ZHANG, W. F. Effects of water stress and rewatering on photosynthesis, root activity, and yield of cotton with drip irrigation under mulch. **Photosynthetica**, v. 54, n. 1, p. 65-73, 2016.
- MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v.67, n.1, p.75-82, 2008.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177, 1962.
- MANSORI, M.; CHERNANE, H.; LATIQUE, S.; BENALIAT, A.; HSISSOU, D.; KAOUA M. E. Seaweed extract effect on water deficit and antioxidative mechanisms in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of applied phycology**, v.27, n.4, p.1689- 1698,2015.
- MARCOS FILHO, J. Dormência de sementes. In: MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p.253-289.
- MARIANATO, R.; LIMA, C. A. S. Irrigação do algodoeiro. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.8, n.92, p.75-81, 1982.

- MARTINAZZO, E. G.; PERBONI, A. T.; OLIVEIRA, P. V. D.; BIANCHI, V. J.; BACARIN, M. A. Photosynthetic activity in japanese plum under water deficit and flooding. **Ciência Rural**, v.43, n.1, p.35-41, 2013.
- MARUR, C. J.; RUANO, O. A reference system for determination of cotton plant development. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.5, n.2, p.243-247, 2001.
- MELO FILHO, J. F. D.; SACRAMENTO, J. A.; CONCEIÇÃO, B. P. Water-retention curve modelled by the psychrometer method for soil physical quality index determination. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.5, p.959-966, 2015.
- MENESES, C. H. S. G.; LIMA, L. H. G. M.; LIMA, M. M. A.; Vidal M. S. aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Rev. bras. ol. Fibros**, v.10, p.1039-1072, 2006.
- NACHIMUTHU, V. V.; PANDIAN, B. A.; ROBIN, S. Role of Reactive Oxygen Species in Water-Deficit Stress Response. In: Reactive Oxygen Species and Antioxidant Systems in Plants: Role and Regulation under Abiotic Stress. **Springer**, p.283-295. 2017.
- NAGASHIMA, G. T.; MARUR, C. J.; YAMAOKA, R. S.; MIGLIORANZA, É. Desenvolvimento de plantas de algodão provenientes de sementes embebidas em cloreto de mepiquat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.9, p.943-946, 2005.
- NAGASHIMA, G. T.; MIGLIORANZA, É.; MARUR, C. J.; YAMAOKA, R. S.; GOMES, J. C. Embebição de sementes e aplicação foliar com cloreto de mepiquat no crescimento e produção do algodoeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1027-1034, 2007.
- NOVAIS, R. F.; NEVES J. C. L.; BARROS N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA A. J. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa-SEA. p. 189-253. 1991.
- NXELE, A.; KLEIN, A.; NDIMBA, B. K. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African Journal of Botany**, v.108, n.1, p.261-266, 2017.
- OUKARROUM, A.; EL MADIDI, S.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, v.60, n.3, p.438-446, 2007.
- OWEIS, T. Y.; FARAHANI, H. J.; HACHUM, A. Y. Evapotranspiration and water use of full and deficit irrigated cotton in the Mediterranean environment in northern Syria. **Agricultural water management**, v.98, n.8, p.1239-1248, 2011.
- PENNA, J. C. V. Melhoramento do algodoeiro anual. **Informe 21 Agropecuário**, Belo Horizonte, v.8, n.92, p.10-13, 1982.
- PETTIGREW, W.T. Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. **Agronomy Journal**. v.96, p.377-383, 2004.

- PINEDO, G. J. V.; FERRAZ, D. K. Hidrocondicionamento de *Parkia pendula* [Bent ex Walp]: semente com dormência física de árvore da Amazônia. **Árvore**, v.32, n.1, p.39-49, 2008.
- RABBANI, A. R. C.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A.; VASCONCELOS, M. C. Pré-embrição em sementes de moringa. **Scientia plena**, v.9, n.5, p.1-8, 2013.
- RATCLIFF, L. F.; RITCHIE, J.T.; CASSEL, D. K. Field-measured limits of soil water availability as related to laboratory measured properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.770-775, 1983.
- RAVEN P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2014. 876p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP, Manole, cap. 3, 6, 7, 9, 11, 12, 16. 2004.
- REID, J. B.; HASHIM, O.; GALLAGHER, J. N. Relations between available and extractable soil water and evapotranspiration from a bean crop. **Agricultural Water Management**, v.9, p.93-209, 1984.
- RICKES, L. N.; KLUMB, E. K.; SILVA, C. D. S; BACARIN, M. A.; BIANCHI, V. J. Water deficit affects gas exchange in peach trees cultivar chimarrita grafted onto different rootstocks. **Irriga**, v.22, n.1, p.140-153, 2017.
- RITCHIE, G. L.; BEDNARZ, C. W.; JOST, P. H.; BROWN, S. M. **Cotton Growth and Development**. Georgia: The University of Georgia - Cooperative Extension. 2007. 16p.
- RITCHIE, J. T. Soil water availability. **Plant and Soil**, v.58, p.327-338, 1981.
- SANTOS, A. R. F.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A. Water pre-hydration as priming for *Moringa oleifera* Lam. seeds under salt stress. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 14, n.1, p.201-207, 2011.
- SANTOS, A. R. F.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A. Water pre-hydration as priming for *Moringa oleifera* Lam. seeds under salt stress. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.14, n.1, p.201-207, 2011.
- SHEN, J. L.; LI, C. L.; WANG, M.; HE, L. L.; LIN, M. Y.; CHEN, D. H.; ZHANG, W. Mitochondrial pyruvate carrier 1 mediates abscisic acid-regulated stomatal closure and the drought response by affecting cellular pyruvate content in *Arabidopsis thaliana*. **BMC plant biology**, v.17, n.1, p.217, 2017.
- SILVA, A. C. D.; SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S. D.; COSTA, R. R.; ANDRADE, W. L. D.; SILVA, D. C. D. Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.3, p.156-162, 2017.

SILVA, A. J. D.; MAGALHÃES-FILHO, J. R.; SALES, C. R. G.; PIRES, R. C. D. M.; MACHADO, E. C. Source-sink relationships in two soybean cultivars with indeterminate growth under water deficit. **Bragantia**, v.77, n.1, p.23-35, 2018.

SNOWDEN, C.; RITCHIE, G.; CAVE, J.; KEELING, W.; RAJAN, N. Multiple irrigation levels affect boll distribution, yield, and fiber micronaire in cotton. **Agronomy Journal**, v.105, n.6, p.1536-1544, 2013.

SOARES, C. M. As dificuldades de internacionalização do algodão colorido paraibano: um estudo de caso sobre a cooperativa **CoopNatural**. 2015.

STANKO, R. T.; REYNOLDS, H. R.; LONCHAR, K. D.; ARCH, J. E. Plasma lipid concentrations in hyperlipidemic patients consuming a high-fat diet supplemented with pyruvate for 6 wk. **The American journal of clinical nutrition**, v.56, n.5, p.950-954, 1992.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, K. S. A.; NASCIMENTO, R.; MELO, A. S.; BRITO, M. E. B. Trocas gasosas e componentes de crescimento em porta enxertos de citros submetidos à restrição hídrica. **Irriga**, v.19, n.3, p.464-477, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

VAN GENUCHTEN, M.T. VAN. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VASCONCELOS, U. A. A.; CAVALCANTI, J. J. V.; FARIAS, F. J. C.; VASCONCELOS W. S.; SANTOS, R. C. Diallel analysis in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for water stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.18, p.24-30, 2018.

YEATES, S. Efeitos do estresse hídrico na fisiologia do algodoeiro. In: ECHER, F. R. (Ed). **O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão – IMAmt, 2014, cap. 3, v.1, p.63-79.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; RODRIGUES, J. I. S.; SOFIATTI, V. Cotton response to water deficits at different growth stages. **Caatinga**, v.30, n.4, p.980 - 990, 2017.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; BEZERRA, J. R. C.; MEDEIROS, J. C. Irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in semi-arid environment. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, n.1, p.118-126, 2016.